

UNIVERSIDADE FEDERAL DO ESPÍRITO SANTO
CENTRO TECNOLÓGICO
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA ELÉTRICA

MATHEUS BRUNORO DILEM

**Arquitetura OTN Switch com Funcionalidades de Cross-conexão e
Multiplexação Óptica e Digital em Redes OTN**

VITÓRIA

2014

MATHEUS BRUNORO DILEM

**Arquitetura OTN Switch com Funcionalidades de Cross-conexão e
Multiplexação Óptica e Digital em Redes OTN**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Elétrica do Centro Tecnológico da Universidade Federal do Espírito Santo, como requisito parcial para obtenção do Grau de Mestre em Engenharia Elétrica.

Orientador: Prof. Dr. Anilton Salles Garcia

VITÓRIA

2014

Dados Internacionais de Catalogação-na-publicação (CIP)
(Biblioteca Setorial Tecnológica,
Universidade Federal do Espírito Santo, ES, Brasil)

D576a Dilem, Matheus Brunoro, 1989-.
Arquitetura OTN Switch com funcionalidades de cross-
conexão e multiplexação óptica e digital em Redes OTN /
Matheus Brunoro Dilem. – 2014.
135 f. : il.

Orientador: Anilton Salles Garcia.
Dissertação (Mestrado em Engenharia Elétrica) –
Universidade Federal do Espírito Santo, Centro Tecnológico.

1. Multiplexação. 2. Simulação (Computadores digitais). 3.
Framework (Programa de computador). 4. Telecomunicações –
Normas. 5. Tecnologia OTN (Optical Transport Network). 6.
Redes ópticas de transporte. I. Garcia, Anilton Salles. II.
Universidade Federal do Espírito Santo. Centro Tecnológico. III.
Título.

CDU: 621.3

MATHEUS BRUNORO DILEM

**Arquitetura OTN Switch com Funcionalidades de Cross-conexão e
Multiplexação Óptica e Digital em Redes OTN**

Dissertação submetida ao programa de Pós-Graduação em Engenharia Elétrica do Centro Tecnológico da Universidade Federal do Espírito Santo, como requisito parcial para a obtenção do Grau de Mestre em Engenharia Elétrica.

COMISSÃO EXAMINADORA

Prof. Dr. Anilton Salles Garcia - Orientador
Universidade Federal do Espírito Santo

Prof. Dr. Flávio de Oliveira Silva
Universidade Federal de Uberlândia

Prof. Dr. Maxwell Eduardo Monteiro
Instituto Federal do Espírito Santo

Prof. Dr. Antônio Manoel Ferreira Frasson
Universidade Federal do Espírito Santo

AGRADECIMENTOS

Agradeço à Deus pela minha vida, minha saúde e bem estar e por sempre ter me iluminado, me ajudado nos momentos mais difíceis e principalmente ter me amado.

Agradeço aos meus pais Adilson e Tania por todo apoio e todo amor que recebi desde os primeiros momentos da minha vida. Agradeço por terem me proporcionado todas as oportunidades necessárias para estar onde estou, tanto na minha vida profissional quanto pessoal.

Aos meus irmãos Bernardo e Caio por todo tempo que estiveram ao meu lado, principalmente durante a minha graduação e mestrado.

À minha namorada Rowana, pela companhia, apoio e compreensão nos bons e nos más momentos durante meu mestrado.

Aos meus amigos e companheiros de pós-graduação Rodrigo Stange, Luiz Guilherme Bueloni, Ramon Schiavo e Rafael Campanharo, dentre outros, pela ajuda, ideias, correções ou apenas pelos momentos de conversa e descontração.

Aos meus companheiros do projeto de pesquisa Ebenézer, Juan, Ivan, Vinícius Pacheco, Estêvão e Thaylo, que ajudaram a proporcionar o desenvolvimento desta dissertação.

Ao meu orientador Prof. Dr. Anilton, pela oportunidade de trabalho, resultando em um grande aprendizado, tanto acadêmico quanto pessoal.

Aos membros da banca, Prof. Dr. Flávio de Oliveira Silva, Prof. Dr. Maxwell Eduardo Monteiro e Prof. Dr. Antônio Manoel Ferreira Frasson, pelo tempo dedicado à avaliação deste trabalho.

À Padtec pelos projetos desenvolvidos em parceria com a UFES, oferecendo a oportunidade de conhecer na prática tecnologias de ponta utilizadas no mundo das telecomunicações.

Ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Elétrica, PPGEE, e a Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior, CAPES, pela oportunidade e suporte financeiro que permitiram a realização deste trabalho.

A todos os meus familiares e amigos próximos que mesmo não tendo contribuído de forma direta, contribuíram indiretamente, com seu carinho, fé e pensamento positivo.

RESUMO

A demanda de novas tecnologias de transporte de dados cada vez mais velozes e com garantias de QoS (*Quality of Service*), ocasionadas pelo crescimento do tráfego da Internet, traz um grande desafio na área de redes de telecomunicação. As redes ópticas de transporte se apresentam como uma solução para as elevadas taxas de transmissão.

No intuito de tornar as redes de núcleo mais flexíveis e ajustadas à dinamicidade e heterogeneidade das demandas, a ITU-T (*International Telecommunication Union – Telecommunication Standardization Sector*) desenvolve uma série de recomendações abordando as mais diversas características das redes OTN (*Optical Transport Network*), no contexto das redes de núcleo, determinando suas funcionalidades.

Esta dissertação tem como objetivo desenvolver uma proposta de arquitetura OTN Switch, com o funcionamento da cross-conexão e da multiplexação de sinais ópticos e digitais presentes nas redes OTN. Para tal, sua arquitetura baseia-se nas recomendações geradas pela ITU-T, tornando-a capaz de prover interoperabilidade com equipamentos já existentes.

Palavras-chave: OTN, OTN Switch, Cross-Conexão, Multiplexação, ITU-T G.798, ITU-T G.709, Simulação, OMNeT++.

ABSTRACT

The demand for new data transport technologies increasingly fast and with guarantees of QoS (Quality of Service), caused by Internet traffic growth, brings a great challenge in the area of telecommunications networks. The optical transport networks are presented as a solution to the high transmission rates.

In order to make the Core Networks more flexible and adjusted to the dynamics and heterogeneity of demands, the ITU-T (International Telecommunication Union - Telecommunication Standardization Sector) develops a series of recommendations addressing the most diverse characteristics of OTN (Optical Transport Network) networks in the context of Networks Center, determining its functionality.

This dissertation aims to develop a proposal of OTN Switch architecture with the operation of cross-connection and multiplexing of optical and digital signals present in the OTN networks. To this end, the architecture is based in the recommendations generated by the ITU-T, making it capable of providing interoperability with existing equipment.

Keywords: OTN, OTN Switch, Cross-Connection, Multiplexing, ITU-T G.798, ITU-T G.709, Simulation, OMNeT++.

LISTA DE FIGURAS

Figura 2-1: Arquitetura das redes OTN (INIEWSKI, MCCROSKY e MINOLI, 2008) .	35
Figura 2-2 Representação da OCh_C segundo a recomendação ITU-T G.798 (ITU-T, 2012)	37
Figura 2-3 Representação da ODU_C segundo a recomendação ITU-T G.798 (ITU-T, 2012)	38
Figura 2-4 Representação da OMSn/OCh_A_So segunda a recomendação ITU-T G.798 (ITU-T, 2012)	39
Figura 2-5 Campos do <i>overhead</i> OPU na multiplexação de sinais ODU (ITU-T, 2012)	40
Figura 2-6 Codificação do Campo MSI na Multiplexação em ODU2 com PT 21 (ITU-T, 2012)	41
Figura 2-7 Codificação do Campo MSI na Multiplexação em ODU3 com PT 21 (ITU-T, 2012)	42
Figura 2-8 Codificação do Campo MSI na Multiplexação em ODU4 com PT 21 (ITU-T, 2012)	42
Figura 3-1: Arquitetura OTN Switch	44
Figura 3-2: CIC de um sinal cliente 10GE	46
Figura 3-3: ODU Switch	47
Figura 3-4: NIC com multiplexação	48
Figura 3-5: WSS	49
Figura 3-6: OIC	50
Figura 3-7: <i>Controller Card</i>	51
Figura 4-1 Estrutura de Modular do OMNeT++	53
Figura 4-2 <i>Layout</i> da implementação da Arquitetura OTN Switch	55
Figura 4-3 Parâmetros do arquivo NED do OTN Switch	56
Figura 4-4 <i>Gates</i> do OTN Switch	57
Figura 4-5 Submódulos do OTN Switch	58
Figura 4-6 Conexões entre os CICs e os <i>gates</i> de acesso ao cliente e entre os CICs e o ODU Switch no OTN Switch	59

Figura 4-7 Conexões entre o ODU Switch e os NICs no OTN Switch.....	60
Figura 4-8 Conexões entre os NICs e o WSS e entre o WSS e os OICs no OTN Switch.....	60
Figura 4-9 Conexões entre os OICs e as fibras no OTN Switch	61
Figura 4-10 Módulos CICs disponíveis no OTN Switch.....	62
Figura 4-11 Arquivo NED do módulo <i>ModuleCicOdu0</i>	63
Figura 4-12 <i>Cards</i> CICs disponíveis no OTN Switch.....	64
Figura 4-13 Arquivo NED do <i>card CicOdu0</i>	65
Figura 4-14 <i>Card</i> ODU Switch do OTN Switch.....	66
Figura 4-15 Arquivo NED do <i>card oduSwitch</i>	66
Figura 4-16 Módulos NICs disponíveis no OTN Switch.....	68
Figura 4-17 Arquivo NED do módulo <i>ModuleNic</i>	68
Figura 4-18 <i>Cards</i> NicOdu3 e NicOdu4 disponíveis no OTN Switch	69
Figura 4-19 <i>Cards</i> Nic e NicOduHO4LO2 disponíveis no OTN Swtich	70
Figura 4-20 Arquivo NED do <i>card Nic</i>	71
Figura 4-21 <i>Card</i> WSS do OTN Switch	72
Figura 4-22 Arquivo NED do <i>card Wss</i>	72
Figura 4-23 Módulo OIC do OTN Switch.....	73
Figura 4-24 Arquivo NED do módulo <i>ModuleOic</i>	74
Figura 4-25 <i>Card</i> OIC do OTN Switch	75
Figura 4-26 Arquivo NED do <i>card Oic</i>	75
Figura 4-27 <i>Card</i> CC do OTN Switch	77
Figura 5-1 Rede de Teste.....	79
Figura 5-2 Interconexão das Fibras.....	80
Figura 5-3 Mapeamento dos Comprimentos de Onda	81
Figura 5-4 Mapeamento dos Sinais OTU	82
Figura 5-5 Mapeamento dos Sinais ODU e dos Clientes	83
Figura 5-6 <i>Log</i> com informações do caminho percorrido pelo cliente (1).....	87

Figura 5-7 Log com informações do caminho percorrido pelo cliente (2)	88
Figura 5-8 Parâmetro de distância inserido no cOpticalChannel.....	88
Figura 5-9 Informações do sinal cliente geradas pelo log	89
Figura 5-10 Informações da adaptação e terminação do sinal ODU geradas pelo log	90
Figura 5-11 Informações da comutação de sinais ODU geradas pelo log	91
Figura 5-12 Informações da multiplexação de sinais ODU geradas pelo log (1).....	92
Figura 5-13 Informações da multiplexação de sinais ODU geradas pelo log (2).....	92
Figura 5-14 Informações de adaptação e terminação do sinal OTU geradas pelo log	93
Figura 5-15 Informações da adaptação e terminação do sinal OCh geradas pelo log	94
Figura 5-16 Configuração da potência do sinal óptico	94
Figura 5-17 Informações da comutação de sinais OCh geradas pelo log.....	95
Figura 5-18 Informações da multiplexação de sinais OCh e terminação de sinal OMS geradas pelo log.....	95
Figura 5-19 Informações da adaptação e terminação do sinal OTS geradas pelo log	96
Figura 5-20 Informações da demultiplexação de sinais ODU geradas pelo log (1)...	97
Figura 5-21 Informações da demultiplexação de sinais ODU geradas pelo log (2)...	98
Figura 5-22 Informações do overhead óptico geradas pelo log	99

LISTA DE TABELAS

Tabela 5-1 Descrição dos OTN Switch	84
---	----

LISTA DE SIGLAS/ACRÔNIMOS

A - *Adaptation function*

AC - *Account Management*

AF - *Atomic Function*

AI_OH - *Adapted Information Overhead*

AI_PLD - *Adapted Information Payload*

AIS - *Alarm Indication Signal*

APS - *Automatic Protection Switching*

ATM - *Asynchronous Transfer Mode*

BDI - *Backward Defect Indication*

BDI-O - *Backward Defect Indication Overhead*

BDI-P - *Backward Defect Indication Payload*

BEI - *Backward Error Indication*

BEI/BIAE - *Backward Error Indication and Backward Incoming Alignment Error*

BIP8 - *Bit Interleaved Parity*

C - *Connection function*

CAPEX - *Capital Expenditure*

CBR - *Constant Bit Rate*

CC - *Controller Card*

CI_Ck - *Characteristic Information Clock*

CI_D - *Characteristic Information Data*

CI_FS - *Characteristic Information Frame Start*

CI_MFS - *Characteristic Information MultiFrame Start*

CI_OH - *Characteristic Information Overhead*

CI_PLD - *Characteristic Information Payload*

CI_RP - *Characteristic Information Remote Point*

CI_SSD - *Characteristic Information Server Signal Degraded*

CI_SSF-O - *Characteristic Information Signal Server Fail Overhead*

CI_SSF-P - *Characteristic Information Signal Server Fail Payload*

CI_TSCC - *Characteristic Information Tributary Slot Connectivity Check*

CI_TSD - *Characteristic Information Trail Signal Degraded*

CI_TSF - *Characteristic Information Trail Signal Fail*

CIC - *Client Interface Card*

CM - *Configuration Management*

CP - *Connection Point*

CPC - *Control Plane Communication*

CPF - *Control Plane Function*

CPI - *Control Plane Interface*

CSF - *Client Signal Fail*

DaT - *Date And Time*

DATC - *Date And Time Communication*

DATI - *Date And Time Interface*

DCN - *Data Communication Network*

DCNC - *Data Cammunication Network Communication*

DCNI - *Date Communication Network Interface*

DWDM - *Dense Wavelength Division Multiplexing*

EMF - *Equipment Management Function*

FAS - *Frame Alignment Signal*

FC - *Fibre Channel*

FCAPS - *Fault, Configuration, Accounting, Performance and Security*

FDI-O - *Forward Defect Indication Overhead*

FDI-P - *Forward Defect Indication Payload*

FEC - *Forward Error Correction*

FM - *Fault Management*

GCC - *General Communication Channel*

GFP - *Generic Framing Procedure*

GFP-F - *Generic Frame Procedure – Framed*

GMPLS - *Generalized Multi-Protocol Label Switching*

GUI - *Graphical User Interface*

HO - *High Order*

IAE - *Incoming Alignment Error*

IETF - *Internet Engineering Task Force*

IP - *Internet Protocol*

ITU - *International Telecommunication Union*

ITU-T - *International Telecommunication Union – Telecommunication Standardization Sector*

JC - *Justification Control*

LabTel - *Laboratório de Telecomunicações*

LAC - *Local Alarm Communication*

LAI - *Local Alarm Interface*

LCAS - *Link Capacity Adjustment Scheme*

LO - *Low Order*

LMP - *Link Management Protocol*

MAF - *Management Application Function*

MBPO - *Minimum Blocking Probability Optimization*

MCF - *Message Communications Function*

MFAS - *MultiFrame Alignment Signal*

MIB - *Management Information Base*

MP - *Management Point*

MPC - *Management Plane Communication*

MPI - *Management Plane Interface*

MSI - *Multiplex Structure Identifier*

NED - *NEtwork Description*

NG-OTN - *Next Generation Optical Transport Network*

NIC - *Network Interface Card*

OAM&P - *Operation, Administration, Maintenance and Provisioning*

OCh - *Optical Channel Layer*

OCI - *Open Connection Indication*

ODU - *Optical Channel Data Unit*

ODUj - *Optical channel Data Unit of level j*

ODUk - *Optical channel Data Unit of level k*

ODUkP - *Optical channel Data Unit of level k, Path*

O-E-O - *Óptico-Eléctrico-Óptico*

OHM - *Overhead Multiplexing*

OIC - *Optical Interface Card*

OIF - *Optical Internetworking Forum*

OM - *Optical Multiplexing*

OMFI - *OPU MultiFrame Identifier*

OMNeT++ - *Objective Modular Network Testbed*

OMS - *Optical Multiplex Section*

ONE - *Optical Network Elements*

OPEX - *Operational Expenditure*

OPU - *Optical Channel Payload Unit*

OSC - *Optical Supervisory Channel*

OTN - *Optical Transport Network*

OTS - *Optical Transmission Section*

OTU - *Optical Channel Transport Unit*

OTU_k - *Optical channel Transport Unit of level k*

OXC - *Optical Cross-Connect*

PDH - *Plesyochronous Digital Hierarchy*

PM - *Path Monitoring*

PMg - *Performance Management*

PMI - *Payload Missing Indication*

PSI - *Payload Structure Identifier*

PT - *Payload Type*

QoS - *Quality of Service*

RES - *Reserved*

ROADM - *Reconfigurable Optical Add-Drop Multiplexer*

SDH - *Synchronous Digital Hierarchy*

Sk - *Sink*

SM - *Section Monitoring*

SMg - *Security Management*

SNC - *SubNetwork Connection*

So - *Source*

SONET - *Synchronous Optical NETwork*

STAT - *Status*

TCM - *Tandem Connection Monitoring*

TDM - *Time Division Multiplex*

TI - *Tecnologia de Informação*

TS - *Tributary Slot*

TT - *Trail Termination function*

TTI - *Trail Trace Identifier*

VCAT - *Virtual Concatenation*

WDM - *Wavelength Division Multiplexing*

WSS - *Wavelength Selective Switch*

XML - *eXtensible Markup Language*

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	21
1.1	CONTEXTUALIZAÇÃO E MOTIVAÇÃO	21
1.2	JUSTIFICATIVA.....	23
1.3	OBJETIVOS E RESULTADOS ESPERADOS	24
1.4	METODOLOGIA	25
1.5	TRABALHOS RELACIONADOS.....	25
1.6	PRINCIPAIS CONTRIBUIÇÕES	28
1.7	ORGANIZAÇÃO DO TEXTO	29
2	FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA.....	31
2.1	REDES ÓPTICAS DE TRANSPORTE	31
2.1.1	Recomendações OTN	32
2.1.2	Arquitetura OTN.....	33
2.2	OTN SWITCH.....	35
2.2.1	Cross-Conexão.....	36
2.2.2	Multiplexação.....	38
3	PROPOSTA DE ARQUITETURA PARA O OTN SWITCH.....	43
3.1	ARQUITETURA OTN SWITCH	43
3.1.1	CIC – <i>Client Interface Card</i>	46
3.1.2	ODU Switch	47
3.1.3	NIC – <i>Network Interface Card</i>	47
3.1.4	WSS - <i>Wavelength Selective Switch</i>	48
3.1.5	OIC – <i>Optical Interface Card</i>	49
3.1.6	CC - <i>Controller Card</i>	50
4	IMPLEMENTAÇÃO	52
4.1	SIMULADOR OMNET++	52
4.2	OTN SWITCH.....	54
4.2.1	Parâmetros	55

4.2.2	Gates.....	56
4.2.3	Submódulos.....	57
4.2.4	Conexões	58
4.3	CIC	61
4.3.1	Módulo.....	61
4.3.2	Card.....	63
4.4	ODU SWITCH	65
4.5	NIC	66
4.5.1	Módulo.....	66
4.5.2	Card.....	69
4.6	WSS	71
4.7	OIC	72
4.7.1	Módulo.....	73
4.7.2	Card.....	74
4.8	CONTROLLER CARD	76
5	TESTES	78
5.1	REDE DE TESTE	78
5.2	EQUIPAMENTO OTN SWITCH UTILIZADO	83
5.3	RESULTADOS.....	85
5.3.1	<i>Log Reduzido</i>	85
5.3.2	<i>Log Completo</i>	89
6	CONCLUSÃO.....	100
6.1	RESULTADOS.....	100
6.2	TRABALHOS FUTUROS	101
7	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	103
APÊNDICE I – LOG COMPLETO DAS INFORMAÇÕES REFERENTES AO CAMINHO PERCORRIDO PELO CLIENTE C2_0		107

1 INTRODUÇÃO

1.1 CONTEXTUALIZAÇÃO E MOTIVAÇÃO

O crescimento contínuo do tráfego da Internet demanda a cada momento uma nova tecnologia para transportar dados a velocidades cada vez maiores (RAMASWAMI, SIVARAJAN e SASAKI, 2010). O surgimento de outras fontes de tráfego, como dispositivos móveis com aplicativos multimídia, com diferentes requerimentos de QoS (*Quality of Service*), constituem um desafio cada vez maior para a convergência de redes. Nesse contexto as tecnologias de redes ópticas de transporte surgem como uma alternativa para o núcleo das redes dada a sua elevada taxa de transmissão.

As Redes Ópticas de Transporte (OTN - *Optical Transport Network*) são uma arquitetura da ITU (*International Telecommunication Union*) que busca estender muitas das funcionalidades do SONET/SDH (*Synchronous Optical NETwork/Synchronous Digital Hierarchy*) (KARTALOPOULOS, 2008) para as redes WDM (*Wavelength Division Multiplexing*), fornecendo uma padronização para os fabricantes de equipamentos DWDM (*Dense Wavelength Division Multiplexing*). A OTN também é conhecida como “*digital wrapper*” devido a sua capacidade transportar qualquer tipo de sinal digital cliente, como um sinal SONET/SDH, Gigabit Ethernet ou *Fibre Channel*, em seu *container* óptico.

A capacidade de suportar diferentes tipos de sinais clientes faz com que a OTN receba clientes com diferentes larguras de banda. Para tal, a OTN é capaz de “empacotar” de maneira flexível o sinal cliente de acordo com sua taxa de transmissão. Na hierarquia digital das redes OTN, tais taxas de acomodação de cliente são de 1,25 Gbps, 2,5 Gbps, 10 Gbps, 10,3 Gbps, 40 Gbps e 100 Gbps, além de uma taxa *flex*, no qual é possível ser ajustada de acordo com o sinal cliente (geralmente abaixo de 1,25 Gbps).

Inicialmente, as redes ópticas, como a SDH, funcionavam apenas com a topologia ponto-a-ponto, na qual apenas um comprimento de onda era utilizado para

transporte do sinal óptico em um par de fibras. Posteriormente, com o desenvolvimento da tecnologia WDM, foi possível o envio de não apenas um único, mas vários comprimentos de onda por um par de fibras ópticas. As redes OTN se caracterizam pela combinação de várias das funcionalidades herdadas da SONET/SDH, como a multiplexação de sinais em nível digital. Tal funcionalidade de multiplexação provê a capacidade de agregar, via TDM (*Time Division Multiplex*), diversos sinais clientes de baixa ordem (com taxas inferiores) em um sinal de alta ordem (com taxa superior). Com isso, é possível melhorar a eficiência do uso de um comprimento de onda, pois, ao invés de transmitir apenas um sinal com a taxa de, por exemplo, 1,25 Gbps, pode-se transmitir até 80 clientes com essa mesma taxa em equipamentos que trabalham com taxas de 100 Gbps, aumentando em mais de 90% a utilização do mesmo.

Outra importante característica incorporada à OTN é a cross-conexão de sinais em nível digital. Sua principal função é realizar o roteamento dos sinais digitais através de uma matriz de comutação que é capaz de determinar o destino de cada sinal de entrada, configurando rotas específicas para cada cliente, ou então alterando rotas de acordo com a disponibilidade de comprimento de onda e dos *lightpaths* em determinados trechos da rede. Segundo (KARTALOPOULOS, 2008), a reconfiguração de rotas através da comutação de comprimento de onda requer um tempo mais elevado do que uma realocação dos sinais digitais transmitidos em determinados comprimentos de onda, o que incentiva o estudo por soluções de implementação da funcionalidade de comutação de sinais digitais. Outra utilização da comutação de sinais digitais é na proteção dos mesmos, pois ela é responsável pela duplicação e envio do sinal digital a ser protegido pela rota de proteção.

As funcionalidades de cross-conexão e multiplexação de sinais ópticos e digitais são bases importantes para caracterizar os termos OTN Switch e NG-OTN (NG-OTN - *Next Generation Optical Transport Network*), bastante utilizados na literatura atual, e fornecem às redes OTN arquiteturas mais flexíveis e mais dinâmicas.

Com o objetivo de padronizar a nova tecnologia, a ITU-T (*International Telecommunication Union – Telecommunication Standardization Sector*) desenvolve uma série de recomendações abordando as mais diversas características das redes OTN, determinando suas funcionalidades. Dentre as recomendações, encontram-se

as específicas para cross-conexão e multiplexação de sinais ópticos e sinais digitais, como, por exemplo, a recomendação ITU-T G.709 (ITU-T, 2012) que define toda a estrutura de dados dos sinais da OTN, e a recomendação ITU-T G.798 (ITU-T, 2012) que define as funções atômicas responsáveis pelo tratamento dos sinais da OTN.

1.2 JUSTIFICATIVA

A busca por redes cada vez mais rápidas, flexíveis e dinâmicas, com garantias de QoS, tornam a evolução da OTN um estudo bastante discutido por pesquisadores na área de telecomunicações. Segundo (FUKUTOKU, OHARA e KADOHATA, 2011), redes construídas com OTN Switch trazem benefícios econômicos e operacionais em redes ópticas. As capacidades de multiplexação e, posteriormente, de comutação de sub-lâmbda (sinais digitais) melhoram o dinamismo em redes que devem suportar a cada dia um volume de tráfego maior.

Ao se comparar o que é desenvolvido atualmente por fabricantes e operadores e o que é descrito nos órgãos padronizadores, nota-se certo distanciamento que, por consequência, acaba gerando uma falta de interoperabilidade entre os equipamentos de redes OTN. Para tal, a ITU-T, assim como outros órgãos padronizadores como a IETF (*Internet Engineering Task Force*) e OIF (*Optical Internetworking Forum*), vem atualizando suas recomendações na tentativa de manter sua tecnologia atualizada e de acordo com as movimentações do mercado.

A escolha do trabalho realizado nesta dissertação segue a linha da busca de soluções para a melhoria do dinamismo das redes, propondo uma arquitetura de OTN Switch que contemple as capacidades citadas e que, ao mesmo tempo, esteja de acordo com as normas padronizadoras da ITU-T. A proposta segue o que está sendo discutido na literatura como o futuro das redes OTN, caracterizadas pelo desenvolvimento do OTN Switch.

1.3 OBJETIVOS E RESULTADOS ESPERADOS

Redes OTN são capazes de transmitir vários tipos de sinais clientes de forma transparente a elevadas taxas de *bit* no núcleo da rede. Com a evolução das redes OTN, métodos de transporte de sinais mais flexíveis foram incorporados, bem como uma maior utilização dos equipamentos, através de um melhor uso dos comprimentos de onda.

Esta dissertação tem como objetivo apresentar uma proposta de arquitetura OTN Switch, com as funcionalidades de cross-conexão e multiplexação de sinais ópticos e digitais em redes OTN, baseada nas recomendações descritas nas normas da ITU-T. Com isso, objetiva-se agregar às redes OTN uma nova arquitetura com maior flexibilidade, devido as suas funcionalidades, e que, ao mesmo tempo, possa ser facilmente utilizada com as já existentes, por causa da sua interoperabilidade.

Esta dissertação objetiva ainda a integração com trabalhos anteriores desenvolvidos pelo grupo de pesquisa do Laboratório de Telecomunicações (LabTel) da UFES. Dentre esses trabalhos, destacam-se: (TESSINARI, 2009), (FRIGINI, 2010), (FERRARI, 2011), (TESSINARI, 2011), (DILEM, 2011), (FAVORETO, 2011), (FAVORETO, 2014), (BUELONI, 2014) e (SILVA, 2013), posteriormente descritos.

Para que o objetivo seja atingido, é necessário: (1) o desenvolvimento teórico de uma arquitetura capaz de unir as funcionalidades do OTN Switch; (2) a complementação do desenvolvimento da funcionalidade de multiplexação de sinais ODU (*Optical Channel Data Unit*) iniciada em (DILEM, 2011); (3) a configuração do plano de gerência para a arquitetura proposta; (4) a integração de todos os módulos presentes na arquitetura proposta (plano de transporte com parte digital e parte óptica com cross-conexão e multiplexação e plano de gerência).

Como resultado adicional desta dissertação, espera-se um aprimoramento do *framework* de simulação em desenvolvimento pelo Grupo de Pesquisa em Redes OTN do LabTel (LABTEL), além de documentos de estudos e soluções para o uso em projetos de graduação de alunos dos cursos de Engenharia de Computação e Engenharia Elétrica, do mestrado em Engenharia Elétrica e em projetos sendo executados pelas equipes de pesquisa do LabTel.

1.4 METODOLOGIA

Após estudos e discussões sobre as novas tendências das redes de transporte, e buscando dar continuidade aos trabalhos desenvolvidos no LabTel do Departamento de Engenharia Elétrica da UFES, surge a ideia da presente dissertação, que para ser realizado com sucesso, segue a seguinte linha de trabalho:

- Pesquisas bibliográficas em bases científicas sobre temas referentes à área;
- Um estudo aprofundado das recomendações dos principais órgãos de padronização (ITU-T), principalmente nas recomendações ITU-T G.798 e ITU-T G.709;
- Elaboração de uma proposta de arquitetura OTN Switch com cross-conexão e multiplexação de sinais ópticos e digitais em redes OTN;
- Implementação das funcionalidades do OTN Switch, baseada nas recomendações da ITU-T, para validação da arquitetura proposta;
- Implementação da arquitetura proposta no simulador de eventos discretos OMNeT++ (*Objective Modular Network Testbed*);
- Realização de testes para validação dos resultados.

1.5 TRABALHOS RELACIONADOS

O trabalho elaborado nesta dissertação aprimora e estende o desenvolvimento de trabalhos gerados pelo grupo de pesquisa em telecomunicações do LabTel da UFES, incorporando aos mesmos o OTN Switch, importante equipamento para o desenvolvimento de redes de próxima geração. Dentre os trabalhos gerados, destacam-se: (TESSINARI, 2009), (FRIGINI, 2010), (FERRARI, 2011), (TESSINARI, 2011), (DILEM, 2011), (FAVORETO, 2011), (FAVORETO, 2014), (BUELONI, 2014) e (SILVA, 2013).

Em (TESSINARI, 2009) foi implementado a hierarquia óptica das redes OTN no simulador OMNeT++, disponibilizando um *framework*, ainda que básico, capaz de trocar mensagens entre ONEs (*Optical Network Elements*) em uma rede de núcleo. Em (FRIGINI, 2010) foi adicionada ao *framework* de simulação a hierarquia digital da OTN, tornando possível a criação de ONEs contendo a arquitetura interna OTN. Em (FERRARI, 2011) é apresentada a utilização do LMP (*Link Management Protocol*) na descoberta automática de topologia de redes OTN pelo plano de gerência. Em (TESSINARI, 2011) foi implementada uma arquitetura para o plano de gerência, tratando dos alarmes presentes na recomendação ITU-T G.798. Em (DILEM, 2011), foi incorporado ao *framework* a funcionalidade de multiplexação de sinais ODU, dando um grau maior de flexibilidade aos ONEs presentes na simulação. Em (FAVORETO, 2011), foi desenvolvido o plano de gerência OTN, capaz de trocar mensagens de falha e configuração com o plano de transporte. Em (FAVORETO, 2014), foi evoluído o plano de gerência OTN, permitindo sua operação no OTN Switch. Em (BUELONI, 2014) a arquitetura OTN Switch proposta nesta dissertação é utilizada para validação de um plano de controle para redes OTN. Em (SILVA, 2013) é implementada a proteção de sinais ODU na ODU_C seguindo o protocolo APS (*Automatic Protection Switching*).

Com relação ao desenvolvimento de uma arquitetura OTN Switch, o fato tem sido bastante estudado e discutido na literatura. Algumas publicações exploram bem o assunto OTN Switch. Em (SCHMITT, 2012) é apresentada a evolução das redes OTN com a incorporação primeiramente da multiplexação e depois da cross-conexão de sub-lâmbda em equipamentos de redes OTN. O autor também mostra a importância do OTN Switch no cenário atual de redes, ilustrando o desejo dos operadores na implementação do mesmo em suas redes.

Em (ZHANG, ZHANG, *et al.*, 2010) é proposto um algoritmo heurístico chamado MBPO (*Minimum Blocking Probability Optimization*) para resolver o problema de gerenciamento de capacidade de cross-conexão em equipamentos com OTN sobre WDM a fim de reduzir custos de CAPEX (*Capital Expenditure*) e OPEX (*Operational Expenditure*). Para validação do mesmo, o autor utiliza uma topologia de rede ARPA com chegada de requerimento de conexão de acordo com o processo de Poisson, geralmente uma boa solução para o problema proposto.

Em (FUKUTOKU, OHARA e KADOHATA, 2011) são explorados meios de otimizar o uso do comprimento de onda, com a inserção de vários sinais clientes, bem como a cross-conexão de clientes entre comprimentos de onda. O autor demonstra a importância da aplicação de *in-service re-grooming* na implementação de redes do futuro, com necessidade de transporte de tráfego dinâmico.

Em (OIF (OPTICAL INTERNETWORKING FORUM), 2011) é apresentado um modelo de OTN Switch baseado em OTN sobre pacotes, fragmentando sinais ODU de entrada em pacotes e fazendo a cross-conexão dos mesmos. O formato do pacote é especificado, com seu cabeçalho e suas características, bem como as funcionalidades e requerimentos dos equipamentos necessários para cross-conexão.

Em (GÉANT, 2011) são descritos alguns dos principais conceitos de redes OTN, relacionando os mesmos com as NG-OTN, no qual, segundo o autor, é visto como uma tecnologia dominante no futuro nos *backbones* de transmissão digital e analógico. O autor cita algumas das importantes vantagens da OTN comparada com a SDH, como o transporte de sinais clientes, melhor FEC (*Forward Error Correction*), melhor escalabilidade e monitoramento de *Tandem Connection*.

Em (FANG e CHEN, 2010) é demonstrada a importância da incorporação do sinal ODUflex (*Flexible ODU* - utilizado para o transporte de sinais clientes com taxas diferentes das padronizadas) como capacidade de prover maior flexibilidade às redes OTN. O autor compara o uso da ODUflex com a VCAT (*Virtual Concatenation*) e a LCAS (*Link Capacity Adjustment Scheme*), mostrando os benefícios do primeiro. O autor também explica duas formas de adaptação de um sinal cliente da OTN para um sinal ODUflex (ODUflex para sinais cliente CBR (*Constant Bit Rate*) e ODUflex para sinais cliente para pacotes mapeados via GFP-F (*Generic Frame Procedure – Framed*)) e propõe um método de redimensionamento para adaptação do sinal cliente, no qual a largura de banda da ODUflex é alterada sem parar o serviço corrente, de acordo com a necessidade e possibilidade da rede.

Em (KNUDSEN-BAAS, 2011), o autor apresenta, em sua dissertação de mestrado, uma comparação entre uma arquitetura de OTN Switch e uma arquitetura puramente de comutação de pacotes no cenário de redes, mostrando os benefícios do uso do

OTN Switch para soluções no núcleo da rede. Para tal, o autor faz uso de um cenário de rede com três nós e os resultados mostraram que, para um OTN Switch regular, os resultados não foram superiores ao da comutação de pacotes, porém com o uso de um OTN Switch que permite reconfiguração os resultados foram superiores aos demais. Embora o autor tenha encontrado uma solução válida, os testes foram realizados com um cenário de rede relativamente simples, o que abre espaço para estudos de uma proposta de arquitetura de OTN Switch que possua melhorias em relação a outras arquiteturas existentes em diversos outros cenários de rede mais complexos.

Embora muito relevantes, as propostas apresentadas em (OIF (OPTICAL INTERNETWORKING FORUM), 2011) e (KNUDSEN-BAAS, 2011) seguem os padrões estabelecidos pela recomendação ITU-T G.709 para taxas de sinais, multiplexação dos sinais ODUk e adaptação dos sinais clientes na rede OTN. No entanto, as arquiteturas de OTN Switch não seguem o padrão de funções atômicas estabelecido pela recomendação ITU-T G.798. Além disso, são voltadas para a parte digital da arquitetura OTN, dando pouca ênfase a parte de multiplexação e cross-conexão óptica. Por fim, não especificam também o funcionamento da gerência de equipamento padronizada pela ITU-T no OTN Switch.

Como forma de apresentar uma nova proposta de OTN Switch, esta dissertação é voltada para o desenvolvimento de uma arquitetura baseada nas recomendações da ITU-T. Com isso, é possível atingir o objetivo de preencher os espaços entre o que é desenvolvido por fabricantes e operadores, o que é estudado na academia e o que é padronizado pelas normas internacionais sobre OTN, garantindo uma maior interoperabilidade entre eles.

1.6 PRINCIPAIS CONTRIBUIÇÕES

As principais contribuições trazidas por esta proposta são:

- Elaboração de uma proposta de arquitetura OTN Switch com cross-conexão e multiplexação de sinais ópticos e digitais;

- Aprimoramento da funcionalidade de multiplexação de sinais ODU com a incorporação AF (*Atomic Function*) relacionada ao PT (*Payload Type*) 21, descrita na recomendação ITU-T G.798;
- Aprimoramento do plano de gerência adaptado ao OTN Switch para o reconhecimento e troca de mensagens com as AFs presentes em cada submódulo da arquitetura;
- Implementação da arquitetura de OTN Switch proposta em um simulador de redes.

1.7 ORGANIZAÇÃO DO TEXTO

Esta dissertação apresenta em seu Capítulo 2 a fundamentação teórica para o desenvolvimento da mesma. Por se tratar de uma proposta de arquitetura para o equipamento OTN Switch, são abordadas inicialmente as principais características das redes OTN e algumas das recomendações que a padronizam e são importantes para a realização desta dissertação. Em seguida são apresentadas as principais funcionalidades que caracterizam o OTN Switch.

No Capítulo 3 é apresentada a proposta de arquitetura do OTN Switch com as funcionalidades de cross-conexão e multiplexação óptica e digital. São descritos os módulos que, em conjunto, constituem o equipamento.

O Capítulo 4 descreve a implementação da arquitetura no simulador OMNeT++. Inicialmente é feito um resumo de algumas das características desse simulador de eventos discretos. Em seguida, é detalhada a implementação de cada módulo, apresentando seus parâmetros, suas conexões e outras informações.

O Capítulo 5 tem por objetivo validar a implementação da arquitetura. Para tal, é estruturada uma rede de teste no OMNeT++. Como resultado, são exibidos os *logs* gerados contendo informações do funcionamento do OTN Switch e suas funcionalidades.

O Capítulo 6 conclui o trabalho realizado nesta dissertação. São apresentadas as conclusões obtidas pelos resultados da implementação e sugestões de trabalhos futuros.

2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

Este capítulo tem como objetivo apresentar as principais características das redes OTN. É descrita a arquitetura interna da OTN e, de forma resumida, as recomendações de padronização referentes a essa tecnologia e essenciais para esta dissertação.

Neste capítulo são apresentadas também as características do OTN Switch, apontando suas principais funcionalidades.

2.1 REDES ÓPTICAS DE TRANSPORTE

Caracterizada principalmente pelas funcionalidades herdadas das redes SONET/SDH juntamente com o desenvolvimento da tecnologia WDM, acoplada às características como transmissão de dados em taxas de 2,5 Gbps a 100 Gbps, cross-conexão e multiplexação óptica e digital, as redes OTN possuem um importante papel no cenário de redes de núcleo.

Segundo (ITU-T, 2010) outras importantes características que tornam as redes OTN mais vantajosas que suas antecessoras são descritas a seguir:

- Escalabilidade aprimorada: a OTN define um esquema de multiplexação similar ao do SONET/SDH, porém transporta dados nativamente a taxas de 100 Gbps, 40 Gbps, 10,3 Gbps, 10 Gbps, 2,5 Gbps, 1,25 Gbps e inferiores, com uma quantidade menor de *overhead*
- Transporte transparente do sinal cliente: alguns sinais clientes são encapsulados diretamente dentro da OTN, enquanto outros tráfegos de dados utilizam, por exemplo, o *Generic Framing Procedure* (GFP). Dessa forma, a OTN pode transportar qualquer forma de sinal digital, e, por isso, é denominada “empacotador” digital (*digital wrapper*). Essa transparência permite o transporte de uma grande quantidade de tipos de sinais clientes, entre eles: SONET/SDH, Ethernet, *Fibre Channel*, *Asynchronous Transfer*

Mode (ATM), *Frame Relay*, e IP (*Internet Protocol*). Esses sinais são transportados sem que haja alterações nas características intrínsecas do sinal original (formato, taxa de *bits* e *clock*).

- Mecanismo aprimorado de correção de erros (FEC – *Forward Error Correction*): O SONET/SDH já possui um mecanismo de FEC, porém utiliza alguns bytes do cabeçalho que não possuem uso definido para transportar a informação de FEC. A OTN possui um campo maior, permitindo alcançar distâncias maiores de transmissão sem regeneração, uma vez que o algoritmo é capaz de corrigir uma quantidade maior de erros de *bit*.
- Mais níveis de monitoramento TCM (*Tandem Connection Monitoring*): o cabeçalho OTN suporta até seis níveis de TCM independentes, tornando possível o monitoramento de vários segmentos de caminhos em múltiplos e distintos domínios administrativos.
- Operação, Administração, Manutenção e Aprovisionamento (OAM&P): a OTN provê funções de operação, administração, manutenção e aprovisionamento, herdadas do SONET/SDH e expandidas para as camadas elétricas da rede OTN.

2.1.1 Recomendações OTN

Embora possua grande vantagem em relação às antecessoras, para que as redes OTN sejam bem difundidas e utilizadas pelos diversos fabricantes e operadores de rede, é necessário que haja uma padronização. Com tal padronização, é possível a interoperabilidade de equipamentos entre diferentes fabricantes de maneira automática, fato que aumenta a usabilidade da OTN.

Para tal, a ITU-T desenvolve uma série de Recomendações que visam especificar as funcionalidades das redes OTN, definindo o formato dos sinais, a forma de adaptação do sinal cliente, a maneira de trocar mensagens, entre outras. Dentre as Recomendações elaboradas pela ITU-T, destacam-se para este trabalho a ITU-T G.805, ITU-T G.709 e ITU-T G.798, que são descritas resumidamente a seguir.

ITU-T G.805 (*Generic Functional Architecture of Transport Networks*): essa Recomendação descreve a arquitetura funcional de redes de transporte, independente da tecnologia. A arquitetura funcional genérica pode ser usada como base para um conjunto de Recomendações de arquitetura funcional de redes de transporte como ATM, SDH, PDH (*Plesyochronous Digital Hierarchy*) e um correspondente conjunto de Recomendações para gerenciamento, análise de desempenho e especificação de equipamento (ITU-T, 2000).

ITU-T G.709 (*Interfaces for the Optical Transport Network (OTN)*): essa Recomendação define as interfaces da OTN a serem usadas com as demais redes. Ela define, entre outras coisas, os formatos de mapeamento dos sinais cliente, a hierarquia de transporte óptico, a estrutura dos quadros, as funcionalidades do *overhead*, as taxas de *bits*, e a multiplexação de sinais (ITU-T, 2012).

ITU-T G.798 (*Characteristics of Optical Transport Network Hierarchy Equipment Functional Blocks*): essa Recomendação especifica, entre outras coisas, uma biblioteca de blocos funcionais e um conjunto de regras que devem ser utilizadas a fim de se construir os elementos de rede na OTN. Ela define as funções atômicas que representam as camadas da OTN, sua interoperabilidade e o modo de como são tratadas as mensagens internamente à OTN, especificando a correlação de defeitos, o tratamento de erros e ações consequentes (ITU-T, 2012).

A descrição completa dessas e das demais recomendações pode ser encontrada no site da ITU-T (ITU-T).

2.1.2 Arquitetura OTN

Segundo (INIEWSKI, MCCROSKY e MINOLI, 2008), a arquitetura das redes OTN é dividida em duas hierarquias, a hierarquia digital de transporte e a hierarquia óptica de transporte (Figura 2-1).

- A hierarquia óptica de transporte é responsável, entre outras coisas, pelo tratamento do sinal óptico, realizando a conversão O-E-O (óptico-elétrico-

óptico), a multiplexação de comprimentos de onda e o transporte fim-a-fim óptico. Sua estrutura hierárquica é dividida em três camadas, assim descritas:

- *Optical Channel Layer* (OCh): fornece suporte à funcionalidade de rede fim-a-fim do canal óptico. Ela faz a conversão O-E-O para um determinado comprimento de onda, podendo esse ser combinado com outros comprimentos de onda em um mesmo sinal óptico.
 - *Optical Multiplex Section* (OMS): descreve os aspectos WDM que suportam os canais ópticos. É constituída de um ou mais comprimentos de onda agregados, sendo capaz de realizar a (de)multiplexação e *add/drop* dos comprimentos de onda ao longo da transmissão.
 - *Optical Transmission Section* (OTS): camada mais baixa da arquitetura OTN. Permite a transmissão de sinais sobre fibras individuais. Ela define uma interface física que detalha os parâmetros ópticos, como comprimento de onda e nível de potência, além de prover a transmissão de sinais entre os elementos de rede ao longo de um caminho óptico.
- A hierarquia digital de transporte é responsável, entre outras coisas, pelo tratamento do sinal digital, realizando o mapeamento dos sinais cliente, a multiplexação de sinais digitais e o transporte fim-a-fim digital. Sua estrutura hierárquica é dividida em três camadas que, na prática, são sub-camadas da OCh, assim descritas:
 - *Optical Channel Payload Unit* (OPU): é composta pela carga útil (*payload*) e pelo cabeçalho (*overhead*). No *payload* se encontra o sinal cliente recebido pela OTN e no *overhead* se encontram os campos de informações a respeito do sinal cliente sendo transportado e, quando for o caso, da multiplexação de sinais ODU.
 - *Optical Channel Data Unit* (ODU): é composta por uma área de *payload*, onde se encontra o quadro OPU, e uma área de *overhead*. Os campos de *overhead* são responsáveis, entre outras coisas, pelo tratamento dos seis níveis de TCM, pela verificação de erros ao longo da transmissão e por canais de comunicação geral.

- *Optical Channel Transport Unit (OTU)*: é composta por uma área de *payload*, onde se encontra o quadro ODU, e uma área de *overhead*. Seus campos de *overhead* são responsáveis pelo alinhamento de quadro, gerenciamento e monitoramento de desempenho e a inclusão do FEC.

Na Figura 2-1 é exibida também a estrutura de camadas com as funcionalidades reduzidas da OTN (*Digital Path Layer* e *Digital Section Layer* para a digital e *Optical Channel Layer* reduzida e *Optical Physical Section* para a óptica).

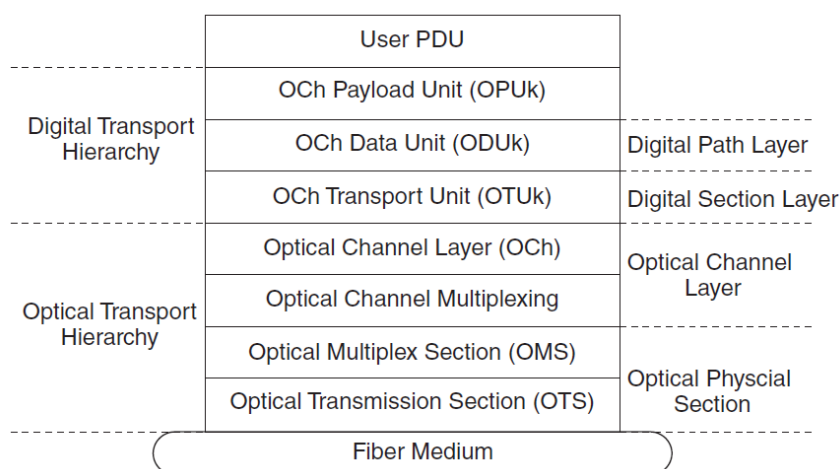


Figura 2-1: Arquitetura das redes OTN (INIEWSKI, MCCROSKY e MINOLI, 2008)

2.2 OTN SWITCH

Com o constante aumento da demanda por serviços com requisitos de QoS cada vez mais sofisticados, a necessidade de prover novos recursos às redes de telecomunicações se torna cada vez maior. Com esse intuito, surge o conceito de OTN Switch, capaz de unir em um mesmo equipamento toda dinamicidade e flexibilidade proveniente das redes OTN, através da comutação e multiplexação de sinais ópticos (OCh) e digitais (ODU).

Tais funcionalidades de cross-conexão e multiplexação são descritas a seguir, tomando-se como base o texto apresentado em (DILEM, FAVORETO, *et al.*, 2013):

2.2.1 Cross-Conexão

A cross-conexão é responsável pela comutação entre sinais de entrada e saída, definindo suas rotas. Na parte óptica os OXC (*Optical Cross-Connect*) e os ROADM (*Reconfigurable Optical Add-Drop Multiplexer*) são ambos conhecidos por disponibilizarem funcionalidade de comutação no nível óptico, sem a necessidade de conversão O-E-O. Adicionalmente, os ROADM podem realizar a adição/extração de sinais ópticos ao sinal WDM, também sem a necessidade de conversão O-E-O. A comutação óptica torna-se possível utilizando uma matriz de conexão presente na OCh_C. Utilizando essas funcionalidades, é possível realizar “roteamento” e proteção às faixas de comprimentos de onda ou a comprimentos de onda individuais, adicionando à rede, importantes ferramentas de engenharia de tráfego.

A recomendação ITU-T G.798 especifica as funcionalidades da AF OCh_C, descrevendo as características, o tratamento dos sinais de entrada/saída e a matriz de conexão. A OCh_C tem a função de conectar a informação característica OCh entre suas portas de entrada e saída. Tal processo não deve afetar a natureza da informação característica. Como ilustrado na Figura 2-2, retirada da recomendação ITU-T G.798, o sinal OCh é comutado entre uma porta de entrada e uma porta de saída de acordo com as conexões estabelecidas pela matriz de conexão. O número máximo de conexões entrada/saída não é especificado pela recomendação e a matriz de conexão pode ser configurada/reconfigurada pela gerência através da porta OCh_C_MP. Na recomendação é especificado o sinal OCI (*Open Connection Indication*), utilizado para conexões em aberto, quando uma saída não está conectada com uma entrada, porém o mesmo não é utilizado nesta dissertação. Os sinais CI_PLD (*Characteristic Information Payload*), CI_OH (*Characteristic Information Overhead*), CI_SSF-P (*Characteristic Information Signal Server Fail Payload*) e CI_SSF-O (*Characteristic Information Signal Server Fail Overhead*) referem-se, respectivamente, ao *payload* e ao *overhead* do sinal OCh e às falhas de *payload* e de *overhead* do sinal OCh.

Degraded), CI_RP (*Characteristic Information Remote Point*) e CI_TSCC (*Characteristic Information Tributary Slot Connectivity Check*) referem-se, respectivamente, ao sinal ODUk, ao seu *clock*, aos sinais de alinhamento de quadro e multiquadro, aos sinais de falha e degradação da camada servidora, aos sinais de falha e degradação da trilha, às informações provenientes do ponto remoto e ao sinal de verificação de conectividade do *tributary slot*.

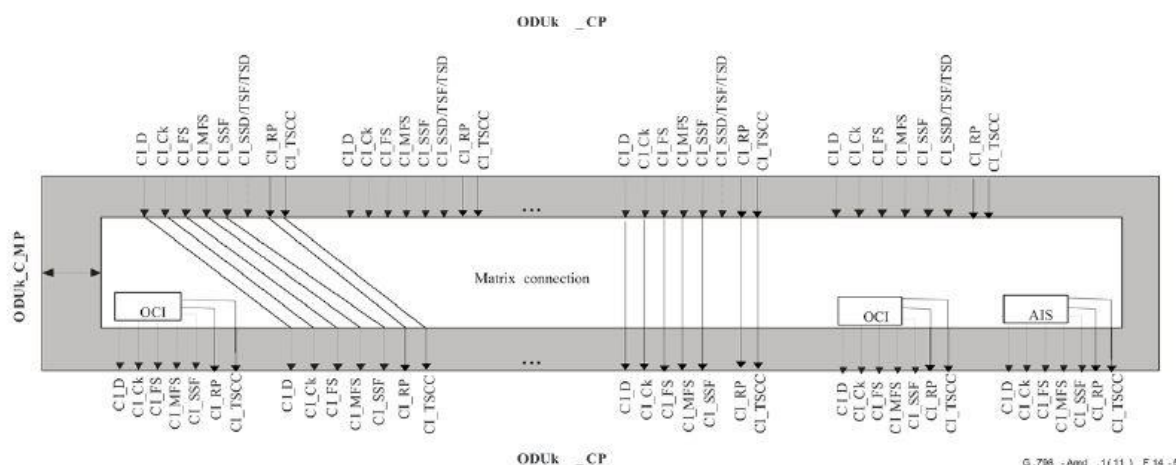


Figura 2-3 Representação da ODU_C segundo a recomendação ITU-T G.798 (ITU-T, 2012)

2.2.2 Multiplexação

Na parte óptica, com a multiplexação WDM torna possível o envio de múltiplos comprimentos de onda em um mesmo sinal, aumentando a utilização de uma fibra óptica. A recomendação ITU-T G.798 designa tal funcionalidade à AF de adaptação OMSn/OCh_A_[So/Sk] (So/Sk - *Source/Sink*). Como ilustrado na Figura 2-4, no lado So os sinais OCh de *payload* (CI_PLD) e de *overhead* (CI_OH) entram na AF e são processados separadamente, sendo multiplexados em um sinal AI_PLD (*Adapted Information Payload*) pelo módulo OM (*Optical Multiplexing*) contendo os CI_PLD de entrada e em um sinal AI_OH (*Adapted Information Overhead*) pelo módulo OHM (*Overhead Multiplexing*) contendo os CI_OH de entrada. No lado Sk, o processo inverso é realizado, demultiplexando o sinal AI_PLD em sinais CI_PLD e o sinal AI_OH em sinais CI_OH.

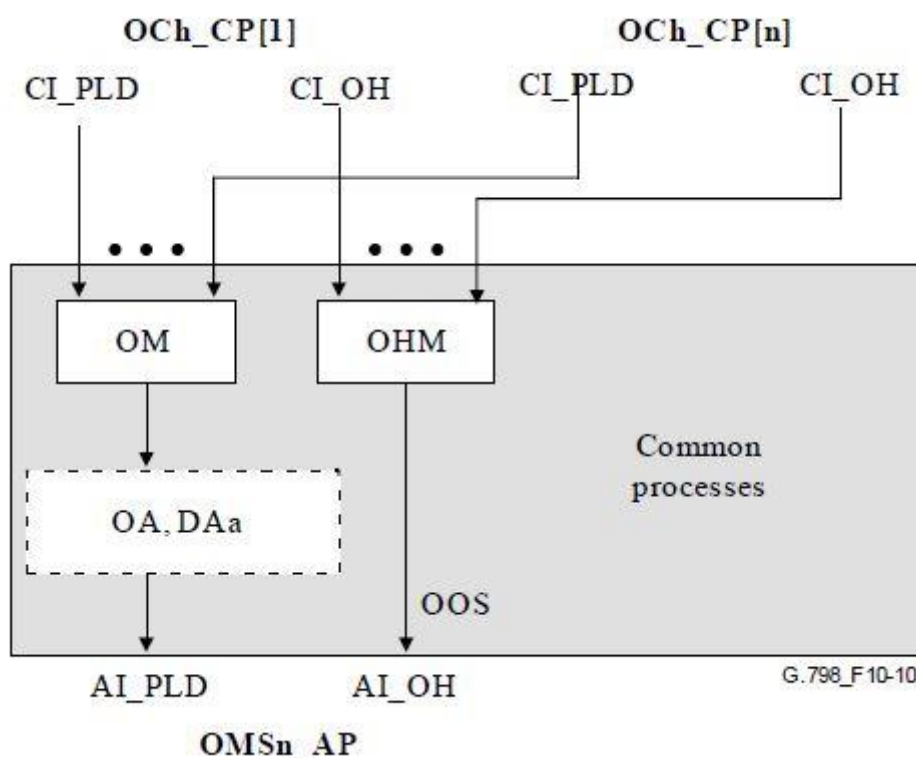


Figura 2-4 Representação da OMSn/OCh_A_So segundo a recomendação ITU-T G.798 (ITU-T, 2012)

Na parte digital, cabe ressaltar que apesar da transmissão na OTN ser realizada apenas em taxas pré-estabelecidas (a saber, 2,5 Gbps; 10 Gbps; 40 Gbps e 100 Gbps), com o uso da técnica de multiplexação por divisão de tempo (TDM), sinais de baixas taxas (acomodados em ODUs de baixa ordem) são transportados em sinais de maior taxa (acomodados em ODUs de alta ordem), tornando possível o transporte sinais clientes com taxas diferentes das taxas padrão de maneira eficiente, abrangendo, inclusive, sinais cujas taxas são inferiores a 2,5 Gbps.

Na recomendação ITU-T G.798, tal funcionalidade é encontrada nas AFs de adaptação ODUkP/ODU[i]j_A_[So/Sk] e ODUkP/ODUj-21_A_[So/Sk]. A diferença entre essas duas AFs está nos tipos de multiplexação que elas desempenham. A primeira realiza apenas as cinco multiplexações ODU1P/ODU0_A (ODU0 para ODU1), ODU2P/ODU1_A (ODU1 para ODU2), ODU3P/ODU1_A (ODU1 para ODU3), ODU3P/ODU2_A (ODU2 para ODU3) e ODU3P/ODU12_A (ODU1 e ODU2 para ODU3), inserindo o valor do campo PT no *overhead* OPU como 20. Tal adaptação é descrita e implementada em (DILEM, 2011). A segunda realiza as multiplexações ODUkP/ODUj-21_A que representam a multiplexação de qualquer

A Figura 2-6, a Figura 2-7 e a Figura 2-8 mostram a codificação do campo MSI nas multiplexações para ODU2, ODU3 e ODU4, respectivamente. Na primeira, o campo, sempre composto de um *byte* (oito *bits*), é dividido em duas partes, sendo a primeira composta dos dois primeiros *bits* que indicam o tipo de sinal de entrada (“00” para multiplexação de ODU1 em ODU2; “01” ainda não utilizado, ficando como reservado; “10” para multiplexação de qualquer taxa inferior a ODU2; “11” caso o TS referenciado esteja desocupado). A segunda parte do campo, composta de seis *bits*, indica o *gate* da AF de multiplexação pelo qual o sinal ODU_j passa. Na Figura 2-7 o campo possui a mesma divisão, com os dois primeiros *bits* indicando o tipo de sinal de entrada (“00” para ODU1 em ODU3; “01” para ODU2 em ODU3; “10” para multiplexação de qualquer taxa inferior a ODU3; “11” caso o TS referenciado esteja desocupado) e os outros seis indicando o *gate* da AF. Na multiplexação para ODU4, a primeira parte do campo possui apenas um *bit*, indicando apenas se o TS está ocupado, enquanto os outros sete *bits* indicam o *gate* da AF.

Mais detalhes sobre as diferenças dessas duas AF de multiplexação podem ser encontrados na recomendação ITU-T G.798 (ITU-T, 2012) e na recomendação ITU-T G.709 (ITU-T, 2012).

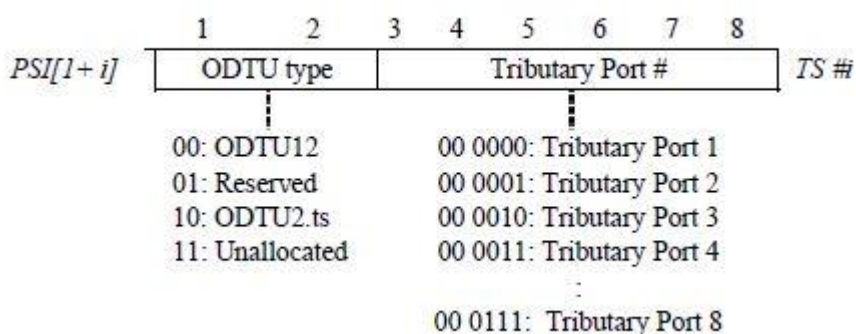


Figura 2-6 Codificação do Campo MSI na Multiplexação em ODU2 com PT 21 (ITU-T, 2012)

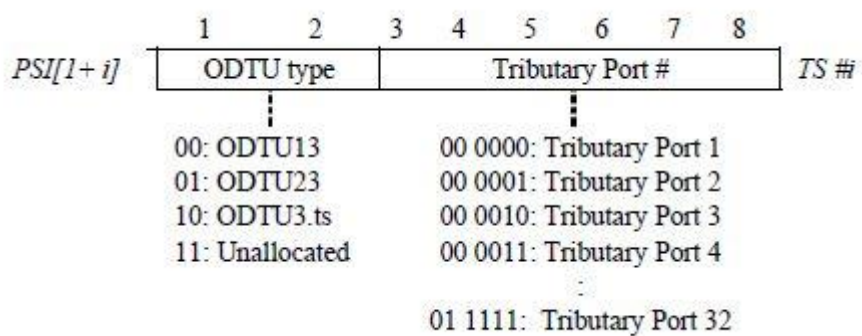


Figura 2-7 Codificação do Campo MSI na Multiplexação em ODU3 com PT 21 (ITU-T, 2012)

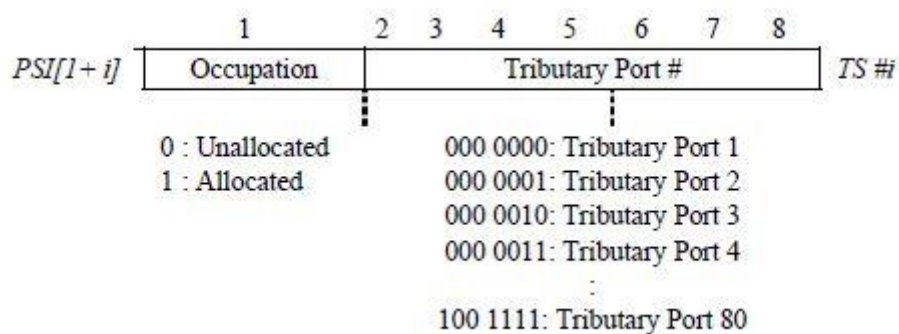


Figura 2-8 Codificação do Campo MSI na Multiplexação em ODU4 com PT 21 (ITU-T, 2012)

3 PROPOSTA DE ARQUITETURA PARA O OTN SWITCH

Neste capítulo é apresentada a proposta de arquitetura para o OTN Switch desenvolvida nesta dissertação. São detalhados todos os módulos pertencentes à arquitetura proposta, descrevendo suas funcionalidades, seus componentes internos e a interoperabilidade entre os módulos.

Como esta dissertação faz parte da continuidade do trabalho desenvolvido pelo grupo de pesquisa do LabTel da UFES, vale ressaltar que as funcionalidades de cross-conexão e multiplexação de sinais ópticos e digitais não foram desenvolvidas neste trabalho, com exceção apenas da multiplexação de sinais ODU que foi estendida a partir do trabalho realizado em (DILEM, 2011). A proposta apresentada neste Capítulo tem por objetivo unir tais funcionalidades em um único equipamento.

A partir deste trabalho, foi gerado o artigo visto em (DILEM, FAVORETO, *et al.*, 2013), apresentado na SBrT 2013. Tal artigo serviu para consolidar a proposta de arquitetura do OTN Switch presente nesta dissertação.

3.1 ARQUITETURA OTN SWITCH

A arquitetura interna do OTN Switch proposta nesta dissertação é ilustrada na Figura 3-1. O OTN Switch é dividido em seis módulos diferentes: CIC (*Client Interface Card*), ODU Switch, NIC (*Network Interface Card*), WSS (*Wavelength Selective Switch*), OIC (*Optical Interface Card*) e CC (*Controller Card*).

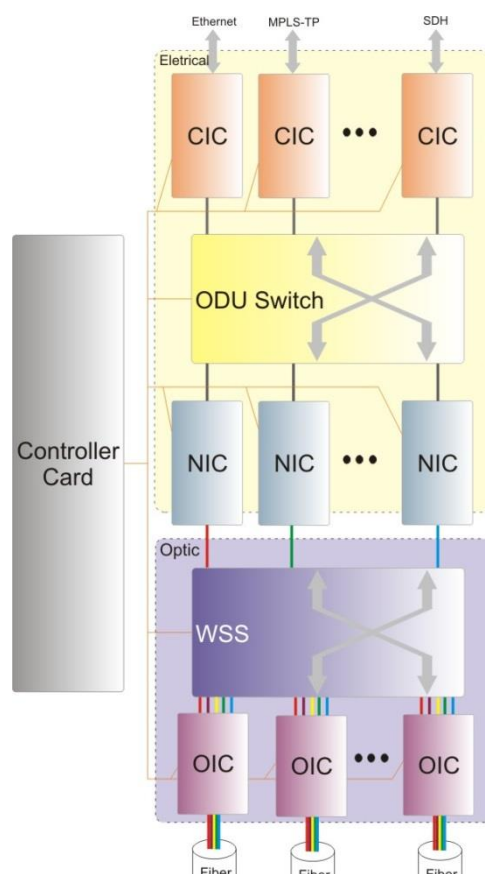


Figura 3-1: Arquitetura OTN Switch

Seguindo o caminho Cliente/Fibra, o primeiro módulo é o CIC, responsável por adaptar/recuperar um sinal cliente ingressando/saindo na rede OTN. Diferentes tipos de sinais clientes, com diferentes características, podem se comunicar com o equipamento, como, por exemplo, 10G-100G Ethernet, FC (*Fibre Channel*), SDH, e até mesmo sinais OTN de menores taxas.

O módulo ODU Switch se encarrega da cross-conexão dos sinais ODU internos ao OTN Switch. Essa comutação é implementada por conexões de subrede (SNC – *SubNetwork Connection*) as quais podem ser configuradas de forma automática por um plano de controle (OpenFlow, GMPLS (*Generalized Multi-Protocol Label Switching*) (IETF, 2004), etc.), ou por intervenção do operador da rede. Adicionalmente, o módulo ODU Switch é capaz de proteger os sinais ODU, fazendo uso do protocolo APS, descrito na recomendação ITU-T G.873.1 (ITU-T, 2011).

O NIC é responsável por prover um caminho fim-a-fim na hierarquia digital, inserir informações de gerenciamento e FEC, além de fornecer a funcionalidade de, quando

necessário, um ou mais estágios de multiplexação ODU. É na NIC que acontece a conversão O-E-O.

O módulo WSS, em conjunto com o módulo OIC, assume o papel dos tradicionais ROADMs. No WSS, um sinal óptico pode ser roteado, protegido, adicionado/extraído em/de um agregado de sinais WDM. Por sua vez, o OIC realiza o tratamento do sinal óptico, ou seja, a (de)multiplexação dos diferentes canais ópticos em uma fibra, amplificação e compensação de dispersão.

O CC é o sexto módulo que compõe a arquitetura proposta para o OTN Switch. Esse módulo realiza as funções de gerenciamento do equipamento (EMF - *Equipment Management Function*) e comunicação (MCF - *Message Communications Function*) com entidades do plano de gerência, plano de controle ou com a rede de comunicação de dados (DCN - *Data Communication Network*).

De acordo com a recomendação ITU-T G.798.1 (ITU-T, 2013), cada equipamento é composto por blocos funcionais, que representam as camadas da arquitetura OTN definidas na recomendação ITU-T G.872 (ITU-T, 2012). Esses blocos funcionais são tratados em detalhe na recomendação ITU-T G.798. Existem três tipos de funções atômicas (AF): terminação de trilha (TT), a função de adaptação (A) e função de conexão (C). Quanto ao sentido de fluxo do sinal, classifica-se em relação ao envio ou recepção, *So (source)* e *Sk (sink)*, respectivamente. Maiores informações acerca dos distintos tipos de AF são disponibilizadas na recomendação ITU-T G.805.

A arquitetura de OTN Switch proposta nesta dissertação foi projetada de forma a incorporar as funcionalidades desejadas e os pré-requisitos existentes nas normas. Dessa forma, os módulos apresentados são internamente compostos por esses blocos funcionais, exercendo a detecção de erros, correlação de defeitos e tomando as devidas ações consequentes, de modo a preservar o correto funcionamento da rede. A divisão da arquitetura em seis módulos diferentes se deve às funcionalidades desempenhadas por cada um deles, tornando mais eficaz a configuração do OTN Switch com a alteração de apenas um dos módulos. Por exemplo, diferentes módulos CICs podem ser desenvolvidos de acordo com o tipo de sinal cliente de entrada, assim como diferentes módulos NICs para cobrir todos

os tipos de multiplexação padronizados pelas recomendações da ITU-T, ou simplesmente para realizar o tratamento do sinal ODU sem multiplexação.

Nas seções seguintes são apresentadas as composições internas de cada um dos módulos que juntos formam o OTN Switch.

3.1.1 CIC – *Client Interface Card*

Um CIC realiza funções de adaptação de um sinal cliente para um sinal ODUk ($k = 0, 1, 2, 2e, 3, 4$ e *flex*), funções essas que desempenham o papel de justificação e mapeamento do sinal cliente, além de funções de terminação de trilha da ODUk, cujo papel é realizar o monitoramento do sinal ODU. Na Figura 3-2, é ilustrado um exemplo de CIC trabalhando com um sinal cliente 10GE, adaptando-o em um sinal ODU2e.

O CIC de 10GE apresenta uma interface com o cliente, de onde é esperado o envio e recebimento de quadros Ethernet à taxa aproximada de 10 Gbps. Na interface à direita da Figura 3-2, são enviados/recebidos quadros ODU2e para/do ODU Switch.

Todo módulo CIC possui uma interface de comunicação com o CC, denominado nas normas de Ponto de Gerenciamento (MP – *Management Point*), por onde trafegam informações referentes ao gerenciamento e controle do CIC.

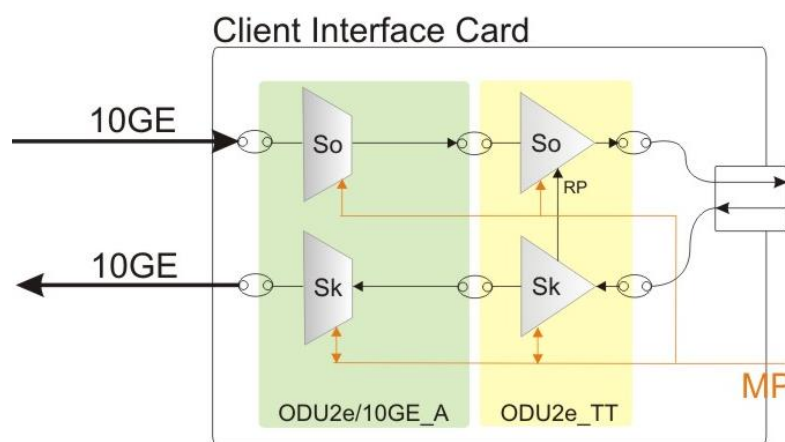


Figura 3-2: CIC de um sinal cliente 10GE

3.1.2 ODU Switch

O ODU Switch, ilustrado na Figura 3-3, é composto exclusivamente pela função de conexão ODU_C, descrita na recomendação ITU-T G.798. Apesar de a ODU_C vir sendo alterada a cada nova versão da recomendação ITU-T G.798, e não ter suas funcionalidades definidas em sua totalidade, as principais primitivas necessárias ao funcionamento do OTN Switch já se encontram padronizadas, a constar: sinais relacionados com a proteção e ao protocolo APS, e sinais de configuração da matriz de comutação (ODUk_C_MI_MatrixControl).

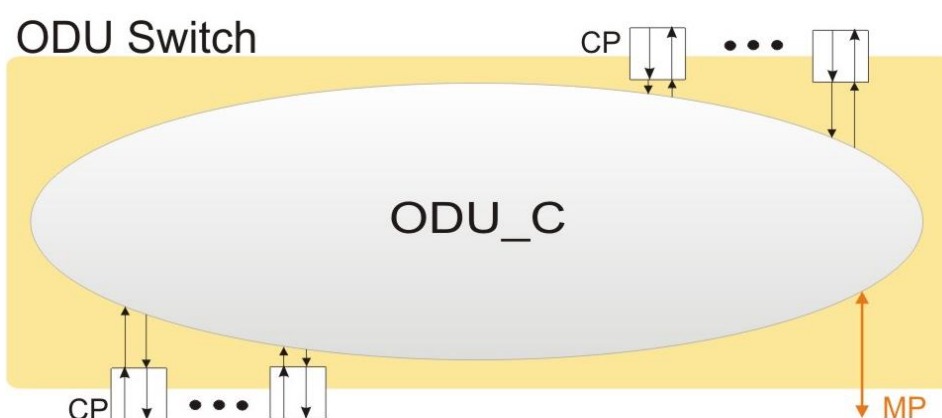


Figura 3-3: ODU Switch

O módulo ODU Switch possui conexões com o CC, através da MP e com os CICs e os NICs, através dos CPs (*Connection Point*). O módulo ODU Switch é responsável por realizar a comutação dos sinais ODUs entre CICs e NICs na funcionalidade de *add/drop* e a comutação dos sinais ODUs entre NICs na funcionalidade de *passthrough*.

3.1.3 NIC – Network Interface Card

O NIC é composto pelas funções atômicas que implementam as camadas OTN OCh, OTU e ODU (no caso de multiplexação). Existem duas variações de NIC, com e sem capacidade de multiplexação. Os NIC com multiplexação são representados de acordo com a Figura 3-4.

Variações a parte, o funcionamento básico é o mesmo. Considerando o sentido de transmissão (Cliente-Rede), os quadros ODU são recebidos diretamente do módulo ODU Switch.

Os quadros ODU recebidos pelo NIC são processados e preparados pelos seus blocos funcionais para sua conversão e transmissão no domínio óptico. Acompanhando a Figura 3-4 da direita para a esquerda tem-se: multiplexação de sinais ODU (ODUkP_ODUj_A), inserção e monitoramento dos campos do sinal ODU de alta ordem (ODUk_TT), detecção de erro de alinhamento do quadro ODU (OTUk_ODUk_A), monitoramento trecho-a-trecho elétrico (OTUk_TT), inserção da palavra de alinhamento e dos bytes de FEC (OCh_OTUk_A), conversão do sinal elétrico em um sinal óptico (OCh_TT). No caso de um NIC sem multiplexação, não há os estágios representados pela adaptação ODUkP_ODUj_A e pela terminação de trilha ODUk_TT .

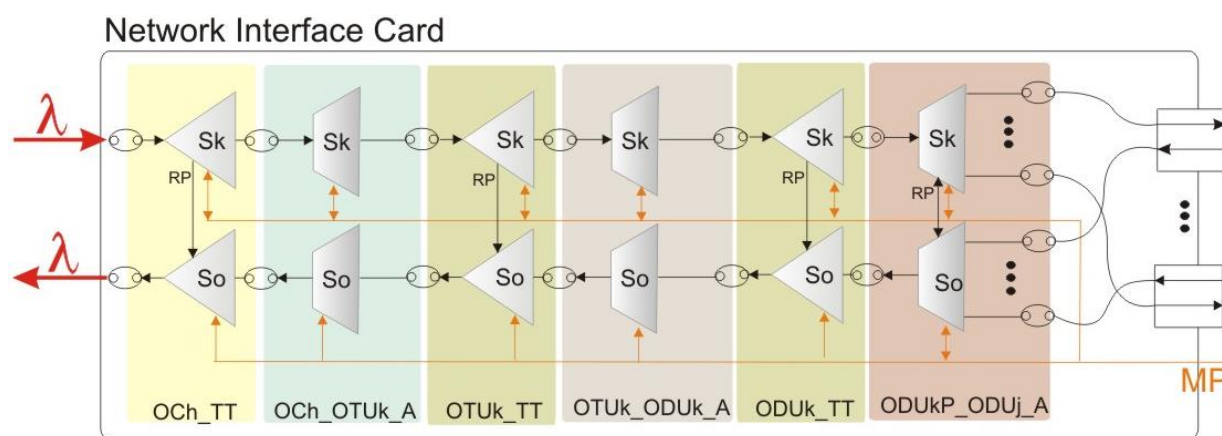


Figura 3-4: NIC com multiplexação

Assim como os demais módulos, o NIC possui uma interface com o CC, pela qual são recebidas informações de configuração e são reportadas métricas de desempenho e falhas.

3.1.4 WSS - Wavelength Selective Switch

O módulo WSS é, funcionalmente, muito semelhante ao módulo ODU Switch, como pode ser visto na Figura 3-5. A diferença primordial entre esses dois módulos é seu domínio de atuação. O WSS é composto por uma função de conexão OCh_C , que

realiza a comutação e a proteção dos sinais no domínio óptico. Tal comutação é realizada com alterações físicas internas ao equipamento, como, por exemplo, alterações nas propriedades reflexivas de um cristal líquido.

Assim como o ODU Switch, o WSS é responsável por realizar a comutação de sinais OCh entre NICs e OICs na funcionalidade de *add/drop* e a comutação entre OICs na funcionalidade de *passthrough*. O WSS possui ainda conexão com o CC, através do MP.

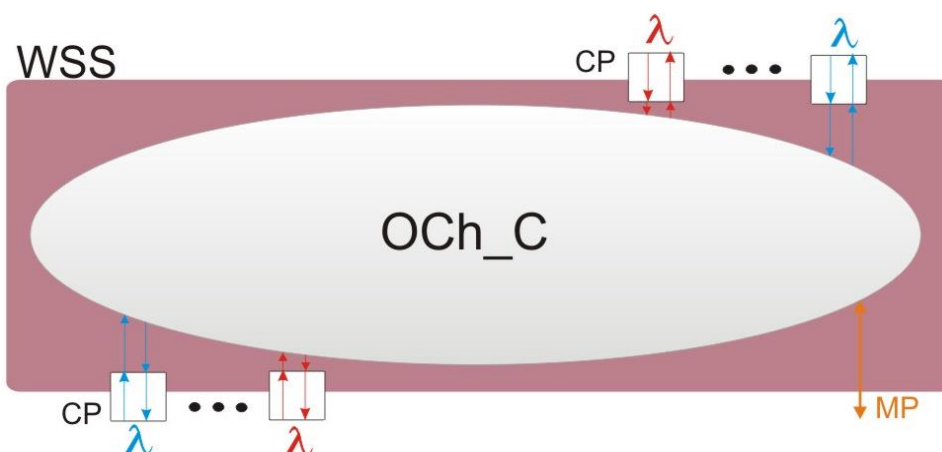


Figura 3-5: WSS

3.1.5 OIC – *Optical Interface Card*

A estrutura funcional do módulo OIC é apresentada na Figura 3-6. Funcionalmente o OIC é composto pelas funções atômicas relacionadas com as camadas de multiplexação óptica (OMS) e de transmissão do sinal WDM (OTS).

Adotando o sentido de transmissão do sinal (Cliente-Rede), canais ópticos distintos, e independentes entre si, transportando um ou mais sinais elétricos, são multiplexados (OMS_OCh_A), têm seu nível de potência monitorado e, opcionalmente, equalizado (OMS_TT e OTS_OMS_A, respectivamente), para, finalmente, ser enviado através de uma fibra óptica (OTS_TT). Adicionalmente ao sinal óptico, existe um canal de supervisão (OSC - *Optical Supervisory Channel*) que é utilizado na transmissão (*out-of-band*) de informações de supervisão das camadas ópticas.

Fisicamente, o OIC compreende um conjunto de (de)multiplexadores, amplificadores (pré e *booster*), módulos de compensação de dispersão, fotodetectores e uma placa geradora do canal de supervisão.

Tal módulo possui conexões com WSS e com o CC, além da conexão física com as fibras ópticas para envio dos sinais ópticos pela rede.

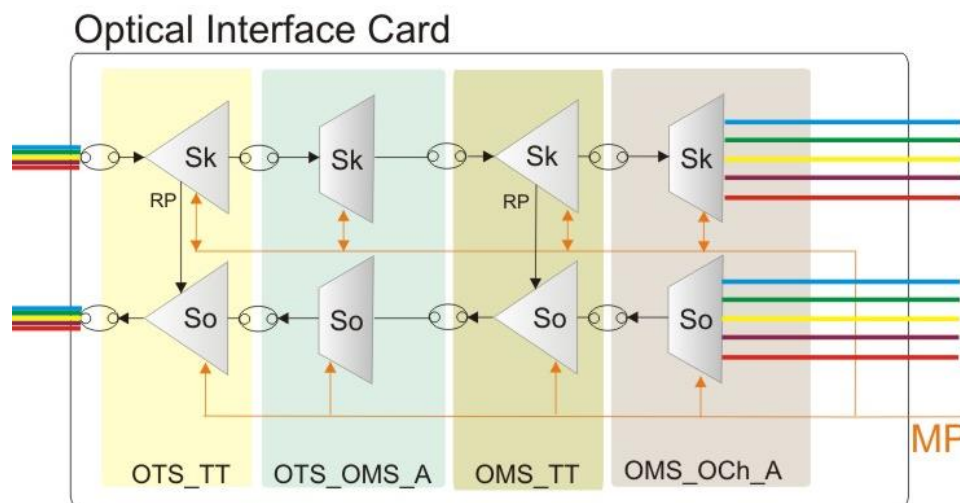


Figura 3-6: OIC

3.1.6 CC - Controller Card

O *Controller Card* implementa as funcionalidades de gerenciamento e controle do dispositivo. Dentre essas funcionalidades, destacam-se: Gerência de Falhas, Gerência de Configuração e Gerência de Desempenho, funções de comunicação com o mundo externo ao equipamento, base de dados e funções de controle, como instanciações de novas SNCs e Descoberta Automática das conexões existentes detalhado em (FERRARI, 2011).

A arquitetura interna do *Controller Card* segue o especificado nas recomendações ITU-T G.874 (ITU-T, 2013), ITU-T G.874.1 (ITU-T, 2012) e ITU-T G.7710 (ITU-T, 2012), e sua representação é apresentada na Figura 3-7.

Controller Card

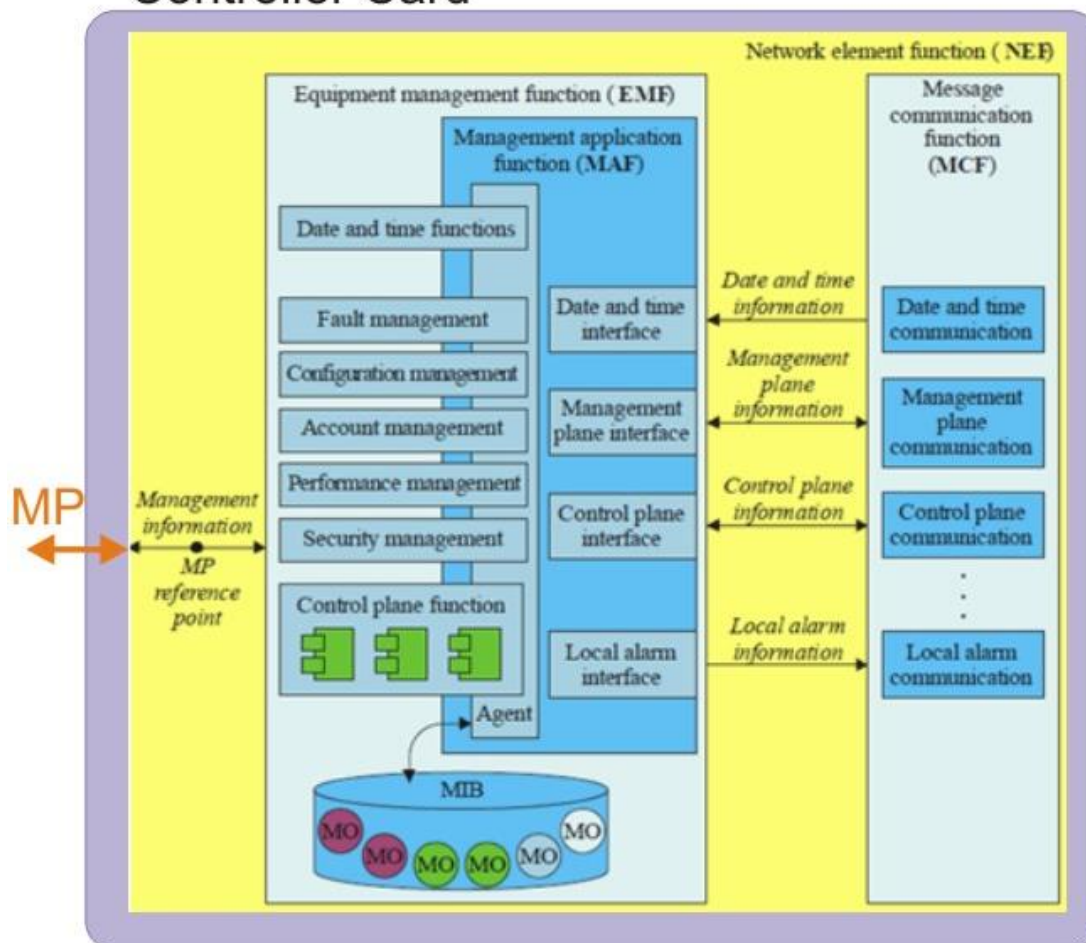


Figura 3-7: Controller Card

4 IMPLEMENTAÇÃO

Neste capítulo é apresentada a implementação da arquitetura de OTN Switch descrita no capítulo anterior. Inicialmente é feita uma abordagem a respeito das principais características do simulador OMNeT++ utilizado e, em seguida, são descritos os códigos desenvolvidos.

4.1 SIMULADOR OMNeT++

A utilização desse simulador se deve ao fato desta dissertação dar continuidade a trabalhos anteriores desenvolvidos na mesma plataforma de simulação. Um dos motivos da escolha do OMNeT++ pelo grupo de estudo da UFES é por ser compatível com toda a biblioteca do INET (INET). Os outros motivos podem ser vistos em (FAVORETO, 2009).

Segundo (VARGAS, 2013), o OMNeT++ é um ambiente de simulação de eventos discretos. Sua área de aplicação principal é a simulação de redes de comunicação, mas por causa de sua arquitetura genérica e flexível, é usado com sucesso em outras áreas, como a simulação de sistemas complexos de TI (Tecnologia de Informação), redes de filas, bem como em arquiteturas de *hardware*. O OMNeT++ fornece uma arquitetura de componentes para os modelos. Componentes (módulos) são programados em C++ e, em seguida, montados em componentes maiores usando uma linguagem de alto nível (NED - *Network Description*). O simulador tem suporte extensivo GUI (*Graphical User Interface*) e, devido à sua arquitetura modular, o *kernel* de simulação pode ser incorporado facilmente em suas aplicações.

Dentre as principais características do OMNeT++, as mais importantes para esta dissertação são a reutilização de código, a estrutura modular e a troca de mensagens. Devido ao fato do grupo de estudo da UFES seguir as recomendações da ITU-T, a reutilização de código torna-se muito importante, pois, a partir da implementação das AFs descritas nas normas, é possível desenvolver inúmeros

tipos de ONE para redes OTN reutilizando os códigos que implementam as funcionalidades de cada camada.

A estrutura modular do OMNeT++, como ilustrada na Figura 4-1, é outra importante ferramenta para o desenvolvimento de simulação de redes OTN. Sua estrutura é dividida basicamente em módulos simples e módulos compostos. Os módulos simples contêm a descrição das funcionalidades da entidade simulada e são implementados em C++. Os módulos compostos são formados pelo agrupamento de módulos simples e/ou módulos compostos, podendo ser conectados pelos seus *gates*. Como exemplo, são consideradas nesta dissertação as AFs descritas na recomendação ITU-T G.798, implementadas em módulos simples (linguagem C++), e os *cards* e o equipamento OTN Switch, desenvolvidos como módulos compostos (linguagem NED).

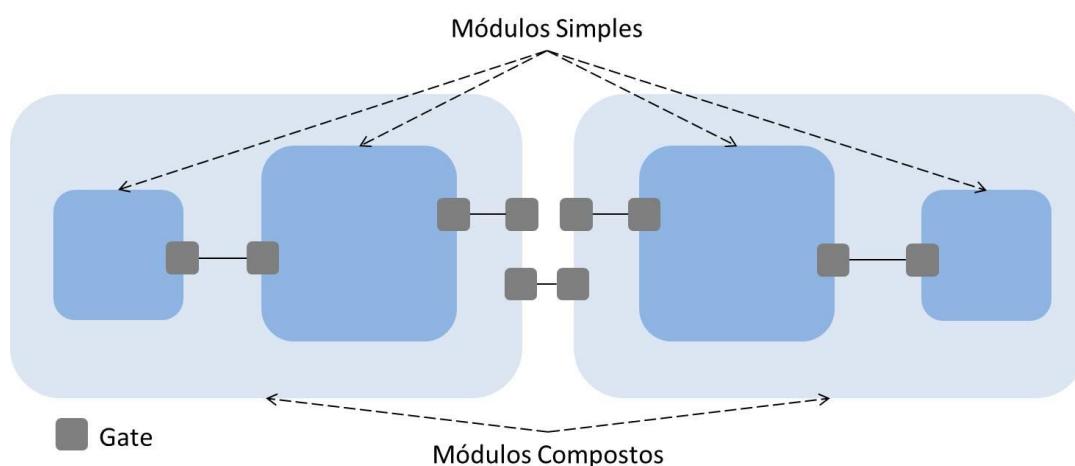


Figura 4-1 Estrutura de Modular do OMNeT++

A troca de mensagens disponível no simulador OMNeT++ é utilizada para a geração de tráfego e comunicação entre os ONE na rede simulada. As mensagens podem representar tanto um sinal cliente entrando no equipamento e passando pelas camadas OTN, quanto uma troca de sinal entre as camadas e a gerência. Por ser um simulador de eventos discretos, é importante salientar que no OMNeT++ sempre deve haver ao menos uma mensagem agendada para a continuidade da simulação.

4.2 OTN SWITCH

Como mencionado nos capítulos anteriores, desde 2008 vem sendo desenvolvido pelo grupo de pesquisa do LabTel da UFES um *framework* de simulação de redes OTN. Atualmente encontram-se incorporadas nesse *framework* diversas funcionalidades, como, por exemplo: plano de transporte de dados, descoberta automática de topologia de rede, plano de controle GMPLS, gerência de equipamento OTN, entre outras.

As principais funcionalidades implementadas e utilizadas na arquitetura apresentada nesta dissertação são o plano de transporte (com grande enfoque na cross-conexão e multiplexação de sinais nos níveis elétrico e óptico), e o plano de gerência de equipamento (principalmente as funcionalidades de gerência de configuração e gerência de falhas).

Na Figura 4-2 é apresentada a implementação do equipamento OTN Switch seguindo a arquitetura proposta. Sua arquitetura interna é composta por um ODU Switch, um WSS, um CC e um ou mais CICs, NICs e OICs.

utilizados cinco modelos diferentes de CIC e quatro modelos diferentes de NIC, descritos nas seções seguintes.

Outros parâmetros utilizados são o *num_fiber_pairs_*, responsável por determinar o número de pares de conexão realizado pelo WSS, o *NEid* e o *NEip*, que determinam o id e o IP do OTN Switch na rede de teste. O parâmetro *@display* é utilizado apenas para determinar algumas características do arquivo NED, como imagem do ícone (*"i"*, recebendo o valor da localização da imagem), dimensões da imagem de *background* (*"bgb"*, recebendo os valores de largura e altura), posição de um módulo (*"p"*, recebendo os valores das coordenadas *"x"* e *"y"*) ou tamanho do ícone (*"is"*, recebendo os valores como *"vl"* ou *"l"* para *verylarge* ou *large*, respectivamente).

```
parameters:
    int num_fiber_pairs_;
    xml configurationOduC;
    xml configurationOchC;
    int NEid;
    string NEip;
    //CIC
    int nCardsCicOdu0 = default(0);
    int nCardsCicOdu1 = default(0);
    int nCardsCicOdu2 = default(0);
    int nCardsCicOdu3 = default(0);
    int nCardsCicOdu4 = default(0);
    //NIC
    int nCardsNicOdu3 = default(0);
    int nCardsNicOdu4 = default(0);
    int nCardsNicOduHO4LO3 = default(0);
    int nCardsNic = default(0);
    //OIC
    int nCardsOic;
    @display("i=otn/otnSwitch/ONEOTNSwitch2;bgb=372,449");
```

Figura 4-3 Parâmetros do arquivo NED do OTN Switch

4.2.2 Gates

Os *gates* do OTN Switch, ilustrados na Figura 4-4, são divididos em lado cliente e lado fibra. O *gate* com saída para a rede (*fiber[]*) é na verdade um vetor de *gates* com dimensão determinada pelo valor de *nCardsOic*, podendo conter uma ou mais fibras. Os *gates* de comunicação com o cliente (*clientSide1G25[]*, *clientSide2G5[]*, *clientSide10G[]*, *clientSide40G[]* e *clientSide100G[]*) são cinco vetores de *gates*, um

para cada tipo de CIC, com dimensões determinadas pelos valores de *nCardsCicOdu_k* (*k* = 0, 1, 2, 3 ou 4).

```

gates:
    inout fiber[nCardsOic];
    inout clientSide1G25[nCardsCicOdu0];
    inout clientSide2G5[nCardsCicOdu1];
    inout clientSide10G[nCardsCicOdu2];
    inout clientSide40G[nCardsCicOdu3];
    inout clientSide100G[nCardsCicOdu4];

```

Figura 4-4 Gates do OTN Switch

4.2.3 Submódulos

Os submódulos compostos na arquitetura interna do OTN Switch são ilustrados na Figura 4-5 e são descritos nas seções seguintes. Vale ressaltar o parâmetro *configuration* que recebe os valores de *configurationOduC* e *configurationOchC* passados para a ODU Switch e para a WSS, respectivamente, com o objetivo de configurá-las. Outro parâmetro importante é o número de *cards* (*nCards*) que recebe os valores passados para os CICs (*nCardsCicOdu_k*, para *k* = 0, 1, 2, 3, 4), NICs (*nCardsNicOdu4*, *nCardsNicOdu3*, *nCardsNicOduHO4LO3* e *nCardsNic*) e OICs (*nCardsOic*).

```

submodules:
  //CIC
  cic0: ModuleCicOdu0 {
    nCards = nCardsCicOdu0;
    @display("p=119,48");
  }
  cic1: ModuleCicOdu1 {
    nCards = nCardsCicOdu1;
    @display("p=168,48");
  }
  cic2: ModuleCicOdu2 {
    nCards = nCardsCicOdu2;
    @display("p=215,48");
  }
  cic3: ModuleCicOdu3 {
    nCards = nCardsCicOdu3;
    @display("p=262,48");
  }
  cic4: ModuleCicOdu4 {
    nCards = nCardsCicOdu4;
    @display("p=311,48");
  }
  //ODU Switch
  oduSwitch: oduSwitch {
    @display("p=215,130;is=v1");
    configuration = configurationOduC;
  }
  //NIC
  nic0: ModuleNicOdu4 {
    nCards = nCardsNicOdu4;
    @display("p=134,207;is=1");
  }
  nic1: ModuleNicOdu3 {
    nCards = nCardsNicOdu3;
    @display("p=177,207;is=1");
  }
  nic2: ModuleNicOduHO4LO3 {
    nCards = nCardsNicOduHO4LO3;
    @display("p=239,207;is=1");
  }
  nic3: ModuleNic {
    nCards = nCardsNic;
    @display("p=286,207;is=1");
  }
  //WSS
  wss: Wss {
    @display("p=215,293;is=v1");
    num_fiber_pairs = num_fiber_pairs_;
    configuration = configurationOchC;
  }
  //OIC
  oic: ModuleOic {
    num_wavelengths = num_wavelengths;
    nCards = nCardsOic;
    @display("p=215,394;is=1");
  }
  //CC
  cc: controllerCard {
    NEip = NEip;
    NEid = NEid;
    @display("p=77,246;is=1");
  }

```

Figura 4-5 Submódulos do OTN Switch

4.2.4 Conexões

As conexões entre os submódulos, internas ao OTN Switch, foram determinadas pelo modelo de OTN Switch utilizado nesta dissertação. A utilização do símbolo “<-->” indica uma conexão bidirecional entre os submódulos correspondentes. O número de conexões varia de acordo com o número de *cards* CIC, NIC e OIC. Para esta dissertação, foi determinado o seguinte padrão de conexão:

Os clientes ODU_k se conectam no OTN Switch pelos *gates* do lado cliente de acordo com sua taxa (Figura 4-6). Clientes com taxa ODU_k (k = 0, 1, 2, 3 e 4) se conectam nos *gates* *clientSide1G25[]*, *clientSide2G5[]*, *clientSide10G[]*, *clientSide40G[]* e *clientSide100G[]*, respectivamente. Tais *gates* se conectam, internamente, com os CICs *cick* (k = 0, 1, 2, 3, 4) da mesma forma que os clientes.

A conexão entre os CICs e o ODU Switch também é ilustrada na Figura 4-6. Os *gates* do ODU Switch (*oduSwitch[]*) foram separados para cada tipo de CIC com o objetivo de facilitar a configuração da comutação presente na ODU_C. Com isso os

gates 0 a 9 do ODU Switch são apenas para conexão com os CICs, que são assim realizadas:

- `oduSwitch[0,1] ↔ cic0;`
- `oduSwitch[2,3] ↔ cic1;`
- `oduSwitch[4,5] ↔ cic2;`
- `oduSwitch[6,7] ↔ cic3;`
- `oduSwitch[8,9] ↔ cic4.`

`connections allowunconnected:`

```

for i=0..nCardsCicOdu0-1 {
    // Client <--> CIC
    cic0.Client[i] <--> clientSide1G25[i];

    //CIC <--> ODU Switch
    cic0.OduSwitch[i] <--> oduSwitch.CI[i];
}
for i=0..nCardsCicOdu1-1 {
    // Client <--> CIC
    cic1.Client[i] <--> clientSide2G5[i];

    //CIC <--> ODU Switch
    cic1.OduSwitch[i] <--> oduSwitch.CI[2+i];
}
for i=0..nCardsCicOdu2-1 {
    // Client <--> CIC
    cic2.Client[i] <--> clientSide10G[i];

    //CIC <--> ODU Switch
    cic2.OduSwitch[i] <--> oduSwitch.CI[4+i];
}

for i=0..nCardsCicOdu3-1 {
    // Client <--> CIC
    cic3.Client[i] <--> clientSide40G[i];

    //CIC <--> ODU Switch
    cic3.OduSwitch[i] <--> oduSwitch.CI[6+i];
}
for i=0..nCardsCicOdu4-1 {
    // Client <--> CIC
    cic4.Client[i] <--> clientSide100G[i];

    //CIC <--> ODU Switch
    cic4.OduSwitch[i] <--> oduSwitch.CI[8+i];
}

```

Figura 4-6 Conexões entre os CICs e os *gates* de acesso ao cliente e entre os CICs e o ODU Switch no OTN Switch

A conexão entre os NICs e o ODU Switch também foi pré-determinada com o mesmo objetivo de facilitar a configuração da ODU_C. Para tal, são separados os *gates* 10 a 442 do ODU Switch, que é ilustrada na Figura 4-7 e assim representada:

- `oduSwitch[10,329] ↔ nic0;`
- `oduSwitch[330,361] ↔ nic1;`
- `oduSwitch[362,441] ↔ nic2;`
- `oduSwitch[442] ↔ nic3.`

```

//ODU Switch <--> NIC
for j=0..nCardsNicOdu4-1, for i=0..79 {
    nic0.OduSwitch++ <--> oduSwitch.CI[10+i+j*80];
}
for j=0..nCardsNicOdu3-1, for i=0..31 {
    nic1.OduSwitch++ <--> oduSwitch.CI[330+i+j*32];
}
for j=0..nCardsNicOduHO4LO3-1, for i=0..79 {
    nic2.OduSwitch++ <--> oduSwitch.CI[362+i+j*80];
}
for j=0..nCardsNic-1 {
    nic3.OduSwitch++ <--> oduSwitch.CI[442+j];
}

```

Figura 4-7 Conexões entre o ODU Switch e os NICs no OTN Switch

Com o mesmo objetivo do ODU Switch, as as conexões dos *gates* do WSS (*wss[]*) com os NICs e com os OICs são pré-determinadas. Os *gates* 0 a 6 são para conexão com os NICs, enquanto que os *gates* 7 a 12 são para conexão com os OICs. Tal configuração é ilustrada na Figura 4-8 e assim representada:

- *wss*[0,3] ↔ *nic*0;
- *wss*[4] ↔ *nic*1;
- *wss*[5] ↔ *nic*2;
- *wss*[6] ↔ *nic*3;
- *wss*[7,8] ↔ *oic*[0];
- *wss*[9,10] ↔ *oic*[1];
- *wss*[11,12] ↔ *oic*[2].

```

//NIC <--> WSS
for i=0..nCardsNicOdu4-1 {
    nic0.Line++ <--> wss.CI[i];
}
for i=0..nCardsNicOdu3-1 {
    nic1.Line++ <--> wss.CI[4+i];
}
for i=0..nCardsNicOduHO4LO3-1 {
    nic2.Line++ <--> wss.CI[5+i];
}
for i=0..nCardsNic-1 {
    nic3.Line++ <--> wss.CI[6+i];
}

//WSS <--> OIC
for j=0..nCardsOic-1, for i=0..num_wavelengths-1 {
    wss.CI[7+j*num_wavelengths+i] <--> oic.line++;
}

```

Figura 4-8 Conexões entre os NICs e o WSS e entre o WSS e os OICs no OTN Switch

Por fim, os OICs são conectados na saída de rede do OTN Switch, sendo o *oic[0]* na *fiber[0]*, o *oic[1]* na *fiber[1]* e o *oic[2]* na *fiber[2]*, como apresentado na Figura 4-9.

```
// OIC <--> Fiber
for i=0..nCardsOic-1 {
    oic.fiber[i] <--> fiber[i];
}
```

Figura 4-9 Conexões entre os OICs e as fibras no OTN Switch

As trocas de mensagem da CC com os demais módulos são realizadas pelo método *sendDirect()* presente no OMNeT++, no qual a mensagem é enviada direto para o módulo passado na chamada do método, não havendo a necessidade da conexão descrita no arquivo NED.

4.3 CIC

Os CICs são compostos de módulos que são constituídos de um ou mais *cards*, de acordo com o seu modelo.

4.3.1 Módulo

Como mencionado anteriormente, existem cinco modelos de CICs, de acordo com a taxa do cliente de entrada. Os modelos são: *ModuleCicOdu0*, *ModuleCicOdu1*, *ModuleCicOdu2*, *ModuleCicOdu3* e *ModuleCicOdu4*. A Figura 4-10 ilustra os modelos de CIC existentes. Nota-se que em todos os modelos existe o parâmetro *nCards* que determina a quantidade de *cards* de um modelo específico. A Figura 4-11 mostra um exemplo de arquivo NED dos módulos CIC. No caso, é apresentado o módulo responsável pela adaptação de um cliente ODU0.

Os módulos CIC possuem, além do parâmetro *nCards*, os *gates* de conexão com o cliente (*Client[nCards]*) e com o ODU Switch (*OduSwitch[nCards]*). Os submódulos pertencentes ao módulo CIC são denominados de *cards* (*cic[nCards]*) e são conectados com os *gates* do módulo CIC.

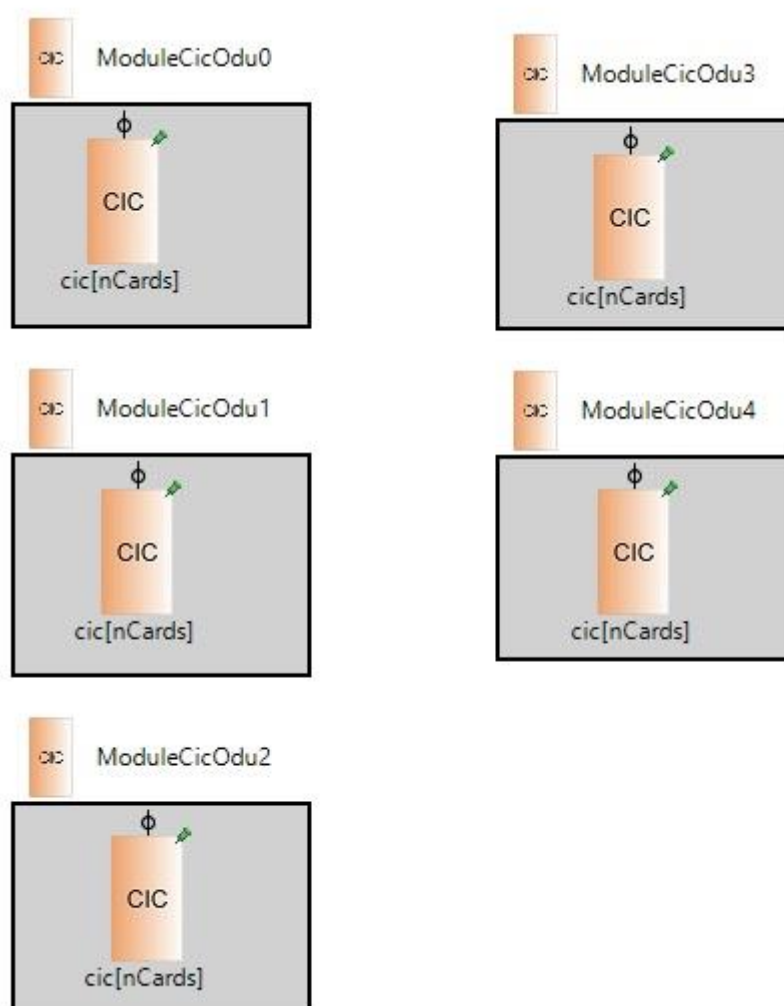


Figura 4-10 Módulos CICs disponíveis no OTN Switch

```

module ModuleCicOdu0
{
  parameters:
    int nCards;
    @display("i=otn/otnSwitch/OTNSwitch_CIC;bgb=146,109");

  gates:
    inout Client[nCards];
    inout OduSwitch[nCards];

  submodules:
    cic[nCards]: CicOdu0 {
      @display("p=54,47");
    }

  connections allowunconnected:
    for i=0..nCards-1 {
      cic[i].Client1G25 <--> Client[i];
      cic[i].OduSwitch <--> OduSwitch[i];
    }
}

```

Figura 4-11 Arquivo NED do módulo *ModuleCicOdu0*

4.3.2 Card

Os *cards* são submódulos pertencentes aos módulos de CIC e também possuem cinco modelos diferentes: *CicOdu0*, *CicOdu1*, *CicOdu2*, *CicOdu3* e *CicOdu4*. Os modelos de *cards* de CIC se diferenciam apenas pela sua taxa, como ilustrado na Figura 4-12.

Como visto na Figura 4-13, para o exemplo do *CicOdu0*, os *cards* são compostos de dois conjuntos bidirecionais (lado So e Sk), sendo o primeiro com as AFs ODUkP/CBRx_A (*bidir_ODUk_CBR*) e o segundo com as AFs ODUk_TT (*bidir_ODUkP*). Além disso, possuem *gates* de conexão com o cliente (*Client1G25*) e com o ODU Switch (*OduSwitch*). No *bidir_ODUk_CBR* tem-se o parâmetro *bitRate* que é responsável por indicar a taxa do sinal ODU processado pela AF.

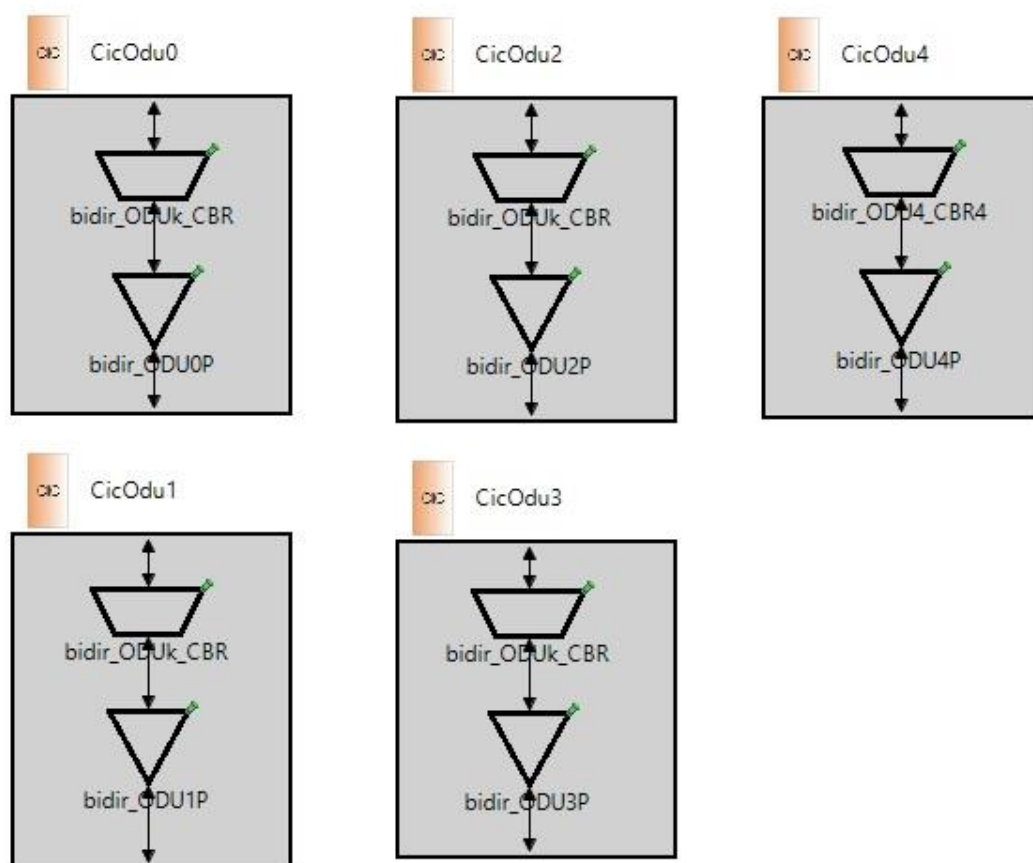


Figura 4-12 Cards CICs disponíveis no OTN Switch

```

module CicOdu0
{
    parameters:
        @display("i=otn/otnSwitch/OTNSwitch_CIC;bgb=146,167");

    gates:
        inout Client1G25;
        inout OduSwitch;

    submodules:
        bidir_ODU0P: Bidir_ODUkP {
            bitRate = 0;
            @display("p=74,113");
        }
        bidir_ODUk_CBR: Bidir_ODUk_CBR {
            @display("p=74,41");
        }

    connections:
        bidir_ODUk_CBR.ODUk_CBR_CP_sk --> Client1G25$o;
        Client1G25$i --> bidir_ODUk_CBR.ODUk_CBR_CP_so;

        bidir_ODU0P.ODUk_TCP_so --> OduSwitch$o;
        OduSwitch$i --> bidir_ODU0P.ODUk_TCP_sk;

        bidir_ODU0P.ODUkP_AP_sk --> bidir_ODUk_CBR.ODUk_CBR_AP_sk;
        bidir_ODUk_CBR.ODUk_CBR_AP_so --> bidir_ODU0P.ODUkP_AP_so;
}

```

Figura 4-13 Arquivo NED do card *CicOdu0*

4.4 ODU SWITCH

O ODU Switch é constituído de apenas um *card* composto por uma ODU_C, responsável pela comutação dos sinais ODU no nível elétrico (Figura 4-14). Na Figura 4-15 pode-se notar os parâmetros referentes ao ODU Switch, bem como seus *gates*, submódulos pertencentes e suas conexões internas.

Os parâmetros de configuração são o *nGates*, que indicam a dimensão do vetor de *gates* da ODU_C e, consequentemente, do ODU Switch, possuindo valor padrão de 500 (*default(500)*), e o nome do arquivo XML (*eXtensible Markup Language*) que é responsável por configurar a matriz de conexão da ODU_C (parâmetro *configuration*). Seu único submódulo é o ODU_C (*cODU_C*) que se conecta com os *gates* de entrada de saída do *card* e possui como parâmetros *num_gates* e *conf* que recebem os valores de *nGates* e *configuration*.

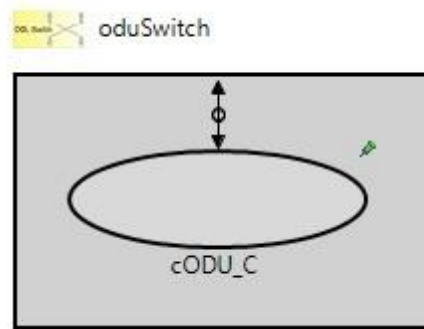


Figura 4-14 Card ODU Switch do OTN Switch

```

module oduSwitch
{
    parameters:
        int nGates = default(500);
        xml configuration;
        @display("i=otn/otnSwitch/OTNSwitch_ODUSwitch;bgb=206,124");
    gates:
        inout CI[nGates];
    submodules:
        cODU_C: cODU_C {
            num_gates = nGates;
            conf = configuration;
            @display("p=100,61");
        }
    connections allowunconnected:
        for i=0..nGates-1 {
            CI[i] --> cODU_C.ODUk_CP_IN[i];
            cODU_C.ODUk_CP_OUT[i] --> CI[i];
        }
}

```

Figura 4-15 Arquivo NED do card oduSwitch

4.5 NIC

Os NICs, semelhante aos CICs, são compostos de módulos que são constituídos de um ou mais *cards*, de acordo com o seu modelo.

4.5.1 Módulo

Como mencionado anteriormente, nesta dissertação são utilizados apenas quatro modelos de NICs. Outros modelos de NIC foram desenvolvidos, porém não

utilizados nesta dissertação devido ao fato dos modelos utilizados já cobrirem os casos de teste desejados. Os modelos utilizados são: *ModuleNic*, *ModuleNicOdu3*, *ModuleNicOdu4* e *ModuleNicOduHO4LO3*. A nomenclatura dos módulos NIC varia de acordo com sua taxa de transmissão e funcionalidade interna. O módulo *ModuleNic* não apresenta multiplexação, tendo sua taxa OTU definida pela CIC de adaptação do cliente. Os módulos do tipo *ModuleNicOduk* possuem multiplexação de sinais ODU em um estágio com saídas às taxas definidas pelo valor k ($k = 1, 2, 3$ e 4). Os módulos do tipo *ModuleNicOduHOiLOj* possuem multiplexação de sinais ODU em dois estágios sendo o primeiro determinado pelo valor j ($j = 0, 1, 2$ e 3) que determina a taxa do sinal ODU LO (LO – *Low Order*) e o segundo pelo valor i ($i = 1, 2, 3$ e 4) que determina a taxa do sinal ODU HO (HO – *High Order*).

A Figura 4-16 ilustra os modelos de NIC existentes. Nota-se que em todos os modelos existe o parâmetro *nCards* que determina a quantidade de *cards* de um modelo específico. A Figura 4-17 mostra um exemplo de arquivo NED dos módulos NIC. No caso, é apresentado o módulo responsável pela adaptação do sinal ODU, sem multiplexação, em um sinal OTU e, posteriormente, em um sinal OCh.

Os módulos NIC possuem, além do parâmetro *nCards*, os *gates* de conexão com o ODU Switch (*OduSwitch[nCards]*) e com o WSS (*wss[nCards]*). Os submódulos pertencentes ao módulo NIC são denominados de *cards* (*nic[nCards]*) e são conectados com os *gates* do módulo NIC.

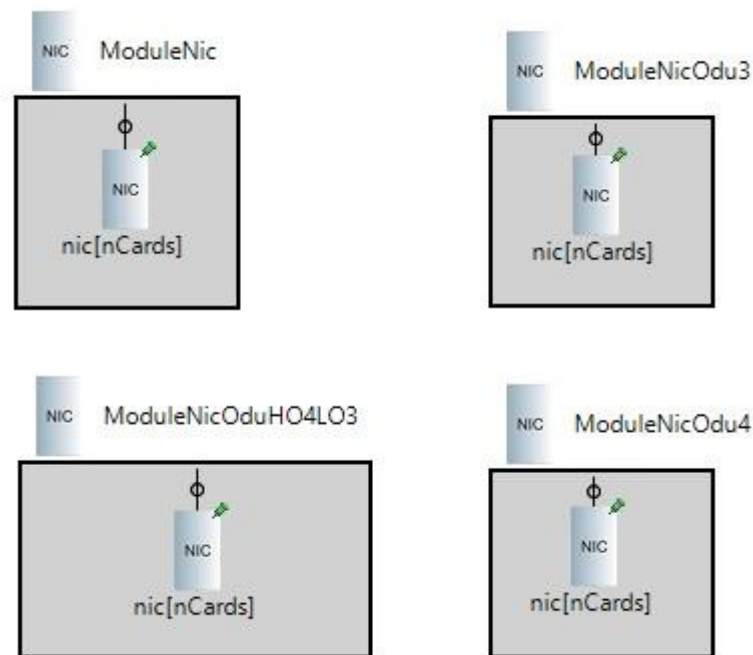


Figura 4-16 Módulos NICs disponíveis no OTN Switch

```

module ModuleNic
{
    parameters:
        int nCards;
        @display("i=otn/otnSwitch/OTNSwitch_NIC2;bgb=109,103");
    gates:
        inout OduSwitch[nCards];
        inout wss[nCards];
    submodules:
        nic[nCards]: Nic {
            @display("p=53,45");
        }
    connections allowunconnected:
        //OduSwitch <--> nic.OduSwitch
        for i=0..nCards-1 {
            OduSwitch[i] <--> nic[i].OduSwitch;
        }

        //WSS <--> nic.wss
        for i=0..nCards-1 {
            wss[i] <--> nic[i].wss;
        }
}

```

Figura 4-17 Arquivo NED do módulo *ModuleNic*

4.5.2 Card

Os *cards* são submódulos pertencentes aos módulos de NIC e também possuem diferentes modelos, a citar apenas os utilizados nesta dissertação: *Nic*, *NicOdu3*, *NicOdu4* e *NicOduHO4LO3*. Sua nomenclatura segue a mesma descrita anteriormente para os módulos NIC. Os modelos de *cards* de NIC também se diferenciam pela sua taxa de transmissão e pelas suas funcionalidades, como ilustrado na Figura 4-18 e Figura 4-19.

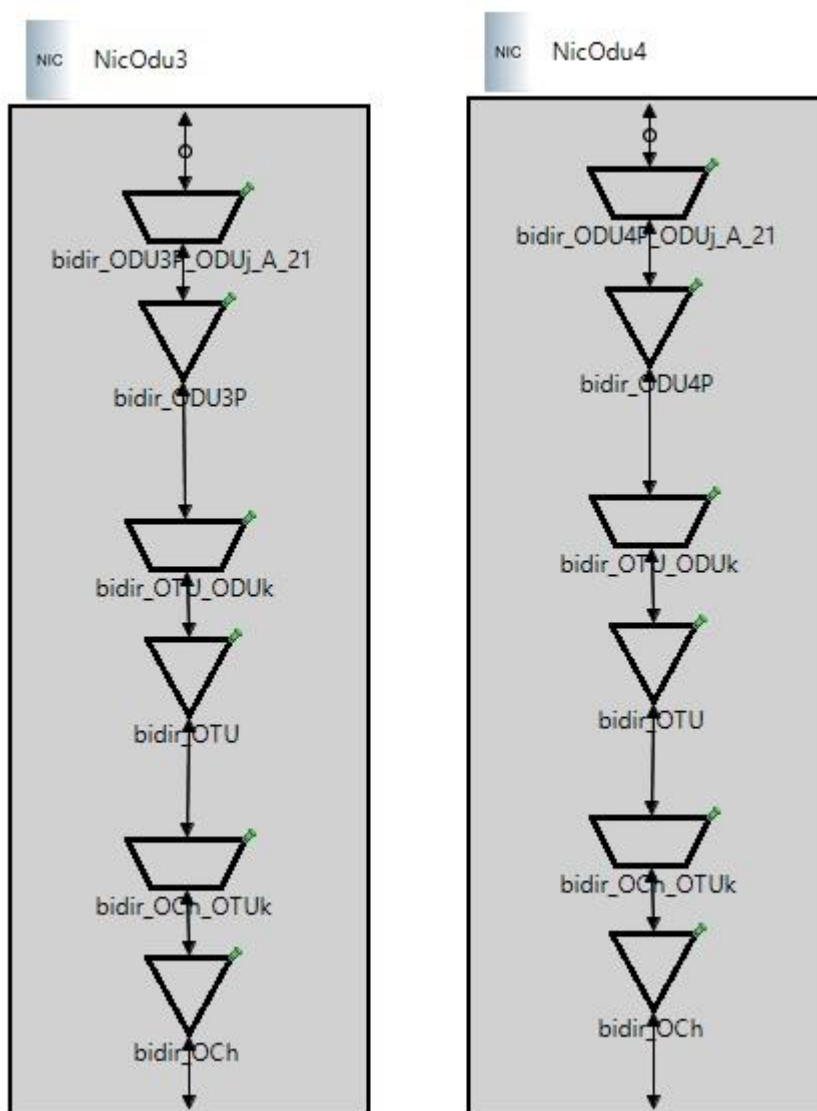


Figura 4-18 Cards NicOdu3 e NicOdu4 disponíveis no OTN Switch

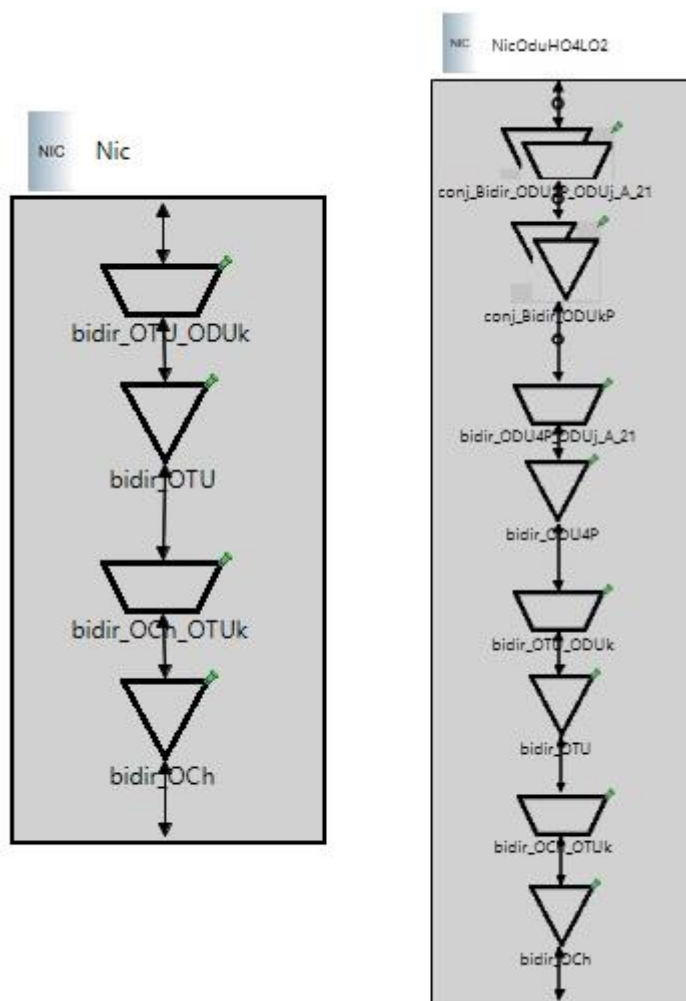


Figura 4-19 Cards Nic e NicOduHO4LO2 disponíveis no OTN Switch

Como visto na Figura 4-20, para os exemplos de *Nic*, *NicOduk* e *NicOduHOiLOj*, os *cards* são compostos de pelo menos quatro conjuntos bidirecionais (lado So e Sk), sendo o primeiro com as AFs OTUk/ODUk_A (*bidir_OTU_ODUk*), o segundo com as AFs OTUk_TT (*bidir_OTU*), o terceiro com as AFs OCh/OTUk_A (*bidir_OCh_OTUk*) e o quarto com as AFs OCh_TT (*bidir_OCh*). Caso o *card* tenha multiplexação, são adicionados um ou dois pares de conjuntos bidirecionais, sendo um par para cada estágio de multiplexação. Cada par de multiplexação é composto por um conjunto com as AFs ODUkP/ODUj-21_A (*bidir_ODUj_ODUj_A_21*) e outro com as AFs ODUk_TT (*bidir_ODUkP*).

Além disso, os *cards* possuem *gates* de conexão com o ODU Switch (*OduSwitch[]*) e com o WSS (*wss[]*).

```

module Nic
{
  parameters:
    @display("i=otn/otnSwitch/OTNSwitch_NIC2;bgb=154,320");
  gates:
    inout OduSwitch;
    inout wss;
  submodules:
    bidir_OTU_ODUk: Bidir_OTU_ODUk {
      @display("p=74,45");
    }
    bidir_OTU: Bidir_OTU {
      @display("p=75,111");
    }
    bidir_OCh_OTUk: Bidir_OCh_OTUk {
      @display("p=74,193");
    }
    bidir_OCh: Bidir_OCh {
      @display("p=75,259");
    }
}

connections allowunconnected:
  //OduSwitch <--> OTUk_ODUk
  OduSwitch$i --> bidir_OTU_ODUk.cOTU_ODUk_CP_so;
  bidir_OTU_ODUk.cOTU_ODUk_CP_sk --> OduSwitch$o;

  //OTUk_ODUk <--> OTUk
  bidir_OTU_ODUk.cOTU_ODUk_AP_so --> bidir_OTU.cOTU_AP_so;
  bidir_OTU.cOTU_AP_sk --> bidir_OTU_ODUk.cOTU_ODUk_AP_sk;

  //OTUk <--> OCh_OTUk
  bidir_OTU.cOTU_TCP_so --> bidir_OCh_OTUk.OCh_OTUk_CP_so;
  bidir_OCh_OTUk.OCh_OTUk_CP_sk --> bidir_OTU.cOTU_TCP_sk;

  //OCh_OTUk <--> OCh
  bidir_OCh_OTUk.OCh_OTUk_AP_so --> bidir_OCh.cOCh_AP_so;
  bidir_OCh.cOCh_AP_sk --> bidir_OCh_OTUk.OCh_OTUk_AP_sk;

  //OCh <--> WSS
  bidir_OCh.cOCh_TCP_so --> wss$o;
  wss$i --> bidir_OCh.cOCh_TCP_sk;
}

```

Figura 4-20 Arquivo NED do card Nic

4.6 WSS

Semelhante ao ODU Switch, o WSS é constituído apenas de um *card* composto por uma OCh_C, responsável pela comutação dos sinais OCh no nível óptico (Figura 4-21). Na Figura 4-22 pode-se notar os parâmetros referentes ao WSS, bem como seus *gates*, submódulos pertencentes e suas conexões internas.

Os parâmetros de configuração são o *num_wavelengths* e o *num_fiber_pairs*, que indicam a dimensão do vetor de *gates* da OCh_C e, consequentemente, do WSS, e o nome do arquivo XML que é responsável por configurar a matriz de conexão da OCh_C (parâmetro *configuration*). Seu único submódulo é o OCh_C (*cOCh_C*) que se conecta com os *gates* de entrada e saída do *card* e possui como parâmetros *num_fiber_pairs*, *num_wavelengths* e *conf* que recebem os valores do número de pares de fibra, número de comprimentos de onda e configurações do XML, respectivamente. Os parâmetros de *num_fiber_pairs* e *num_wavelengths* passados para a OCh_C foram determinados com os valores ilustrados pois, diferentemente das implementações anteriores realizadas no *framework* desenvolvido pelo grupo do LabTel, a OCh_C presente no OTN Switch se comporta de forma semelhante à ODU_C, ou seja, suas conexões são pré-fixadas, ao invés de serem alocadas dinamicamente conforme a quantidade de NICs e CICs.

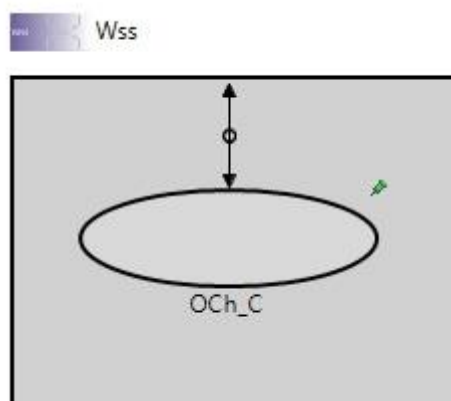


Figura 4-21 Card WSS do OTN Switch

```

module Wss
{
  parameters:
    int num_wavelengths;
    int num_fiber_pairs;
    xml configuration;
    @display("i=otn/otnSwitch/OTNSwitch_WSS;bgl=6;bgb=221,162");
  gates:
    inout CI[2*num_fiber_pairs*num_wavelengths];
  submodules:
    OCh_C: cOCh_C {
      num_fiber_pairs = 2*num_fiber_pairs;
      num_wavelengths = 1;
      conf = configuration;
      @display("p=107,79");
    }
  connections allowunconnected:
    for i=0..(2*num_fiber_pairs)-1, for j=0..num_wavelengths-1 {
      OCh_C.OCh_CP_IN++ <-- CI$i++;
      OCh_C.OCh_CP_OUT++ --> CI$o++;
    }
}

```

Figura 4-22 Arquivo NED do card Wss

4.7 OIC

O OIC, semelhante aos CICs e NICs, é composto de um módulo que é constituído de um ou mais *cards*.

4.7.1 Módulo

O OIC apresenta apenas um único modelo de módulo (*ModuleOic*), como apresentado na Figura 4-23. Assim como nos CICs e NICs, o parâmetro *nCards* determina a quantidade de *cards* presentes no modelo.

A Figura 4-24 mostra o arquivo NED do módulo OIC. Tal módulo possui, além do parâmetro *nCards*, o parâmetro *num_wavelengths*, que determina a quantidade de comprimentos de onda (OCh) presentes em cada fibra conectada à rede. Os *gates* presentes são os de conexão com o WSS (*wss[nCards*num_wavelengths]*) e com a saída do OTN Switch (*fiber[nCards]*). Os submódulos pertencentes ao módulo OIC são denominados de *cards* (*oic[nCards]*) e são conectados com os *gates* do módulo OIC.

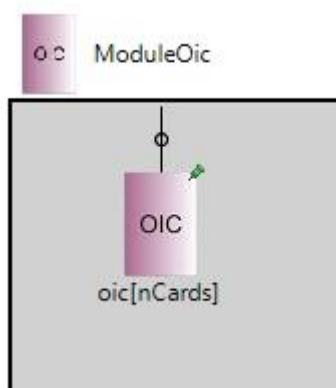


Figura 4-23 Módulo OIC do OTN Switch

```

module ModuleOic
{
  parameters:
    int num_wavelengths;
    int nCards;
    @display("i=otn/otnSwitch/OTNSwitch_OIC;bgl=6;bgb=163,143");
  gates:
    inout wss[nCards*num_wavelengths];
    inout fiber[nCards];
  submodules:
    oic[nCards]: Oic {
      num_wavelengths = num_wavelengths;
      @display("p=74,61,r,150,150");
    }
  connections allowunconnected:
    //Wss <--> OIC.Wss
    for i=0..nCards-1, for j=0..num_wavelengths-1 {
      wss++ <--> oic[i].wss[j];
    }

    //Fiber <--> OIC.Fiber
    for i=0..nCards-1 {
      fiber++ <--> oic[i].fiber;
    }
}

```

Figura 4-24 Arquivo NED do módulo *ModuleOic*

4.7.2 Card

Os *cards* são submódulos pertencentes ao módulo de OIC e possui apenas um modelo, o *Oic*. O *card Oic* é responsável pelas funcionalidades da arquitetura óptica das redes OTN (camadas OMS e OTS), sendo composto por quatro conjuntos bidirecionais. Os dois primeiros representam as funcionalidades da camada OMS, sendo representados pelas AFs OMSn/OCh_A (*OMSn_OCh_A_So* e *OMSn_OCh_A_Sk*) e OMSn_TT (*OMSn_TT_So* e *OMSn_TT_Sk*). Os outros dois conjuntos desempenham as funcionalidades da camada OTS, compostos pelas AFs OTSn/OMSn_A (*OTSn_OMSn_A_So* e *OTSn_OMSn_A_Sk*) e OTSn_TT (*OTSn_TT_So* e *OTSn_TT_Sk*), como ilustrado na Figura 4-25.

Como visto na Figura 4-26, além dos submódulos descritos, os *cards Oic* possuem como parâmetro o *num_wavelengths*, responsável por indicar o número de comprimentos de onda presentes em cada saída para fibra. Eles possuem ainda

gates de conexão com o WSS ($OCh_CP_IN[num_wavelengths]$ e $OCh_TCP_OUT[num_wavelengths]$) e com a saída do OTN Switch ($OTSn_TCP_IN$ e $OTSn_TCP_OUT$).

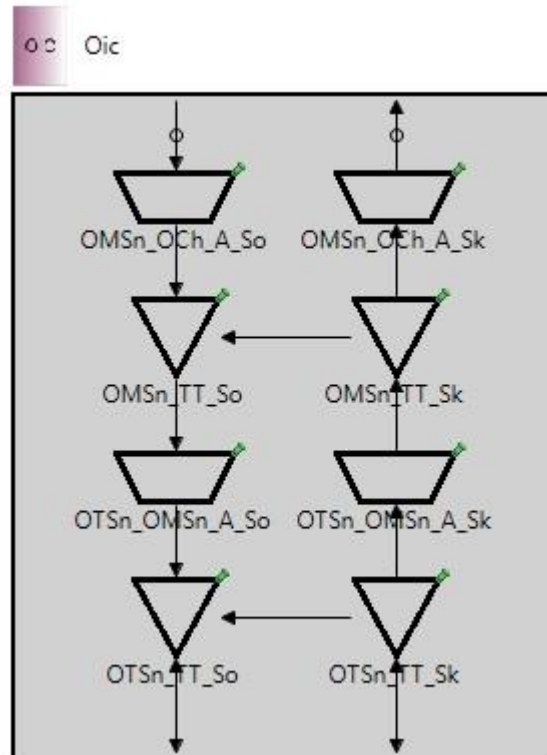


Figura 4-25 Card OIC do OTN Switch

```

module Oic
{
  parameters:
    int num_wavelengths;
    @display("bgb=270,330");
  gates:
    // OCh Trail Termination related gates
    input OCh_CP_IN[num_wavelengths];
    output OCh_TCP_OUT[num_wavelengths];
    // Fiber related gates
    input OTSn_TCP_IN;
    output OTSn_TCP_OUT;
  submodules:
    OTSn_TT_Sk: cOTSn_TT_Sk {
      num_wavelengths = num_wavelengths;
      @display("p=190,260");
    }
    OTSn_TT_So: cOTSn_TT_So {
      num_wavelengths = num_wavelengths;
      @display("p=80,260");
    }
    OTSn_OMSn_A_Sk: cOTSn_OMSn_A_Sk {
      @display("p=190,190");
    }
    OTSn_OMSn_A_So: cOTSn_OMSn_A_So {
      @display("p=80,190");
    }
    OMSn_TT_Sk: cOMSn_TT_Sk {
      num_wavelengths = num_wavelengths;
      @display("p=190,120");
    }
    OMSn_TT_So: cOMSn_TT_So {
      @display("p=80,120");
    }
    OMSn_OCh_A_Sk: cOMSn_OCh_A_Sk {
      num_wavelengths = num_wavelengths;
      @display("p=190,50");
    }
    OMSn_OCh_A_So: cOMSn_OCh_A_So {
      num_wavelengths = num_wavelengths;
      @display("p=80,50");
    }
  connections allowunconnected:
    // Connections between OCh_TT and OMSn_OCh_A
    for i=0..num_wavelengths-1 {
      OCh_CP_IN[i] --> OMSn_OCh_A_So.OCh_CP[i];
      OCh_TCP_OUT[i] <-- OMSn_OCh_A_Sk.OCh_CP[i];
    }

    OMSn_OCh_A_So.OMSn_AP --> OMSn_TT_So.OMSn_AP;
    OMSn_TT_Sk.OMSn_RP --> OMSn_TT_So.OMSn_RP;
    OMSn_TT_So.OMSn_TCP --> OTSn_OMSn_A_So.OMSn_CP;
    OTSn_OMSn_A_So.OTSn_AP --> OTSn_TT_So.OTSn_AP;
    OTSn_TT_Sk.OTSn_RP --> OTSn_TT_So.OTSn_RP;
    OTSn_TT_So.OTSn_TCP --> OTSn_TCP_OUT;
    OTSn_TCP_IN --> OTSn_TT_Sk.OTSn_TCP;
    OTSn_TT_Sk.OTSn_AP --> OTSn_OMSn_A_Sk.OTSn_AP;
    OTSn_OMSn_A_Sk.OMSn_CP --> OMSn_TT_Sk.OMSn_TCP;
    OMSn_TT_Sk.OMSn_AP --> OMSn_OCh_A_Sk.OMSn_AP;
}

```

Figura 4-26 Arquivo NED do card Oic

4.8 CONTROLLER CARD

O CC é composto de um *card* contendo a Gerência de Equipamento da OTN (Figura 4-27). A Gerência de Equipamento é implementada segundo as recomendações ITU-T G.874, ITU-T G.874.1 e ITU-T G.7710 sendo mais detalhada em (FAVORETO, 2011). Sua arquitetura interna contém os submódulos MP, DaT (*DateAndTime*), FM (*FaultManagement*), CM (*ConfigurationManagement*), AC (*AccountManagement*), PMg (*PerformanceManagement*), SMg (*SecurityManagement*), CPF (*ControlPlaneFunction*), MIB (*Management Information Base*) e Agent, além das interfaces DATI (*DateAndTimeInterface*), MPI (*ManagementPlaneInterface*), CPI (*ControlPlaneInterface*), DCNI (*DateCommunicationNetworkInterface*) e LAI (*LocalAlarmInterface*) e dos submódulos de comunicação DATC (*DateAndTimeCommunication*), MPC (*ManagementPlaneCommunication*), CPC (*ControlPlaneCommunication*), DCNC (*DataCommunicationNetworkCommunication*) e LAC (*LocalAlarmCommunication*).

Tais submódulos desempenham as funcionalidades de *Date and Time*, as áreas funcionais de falha, configuração, contabilidade, desempenho e segurança (FCAPS – *Fault, Configuration, Accounting, Performance and Security*) a MAF (*Management Application Function*) e a MIB.

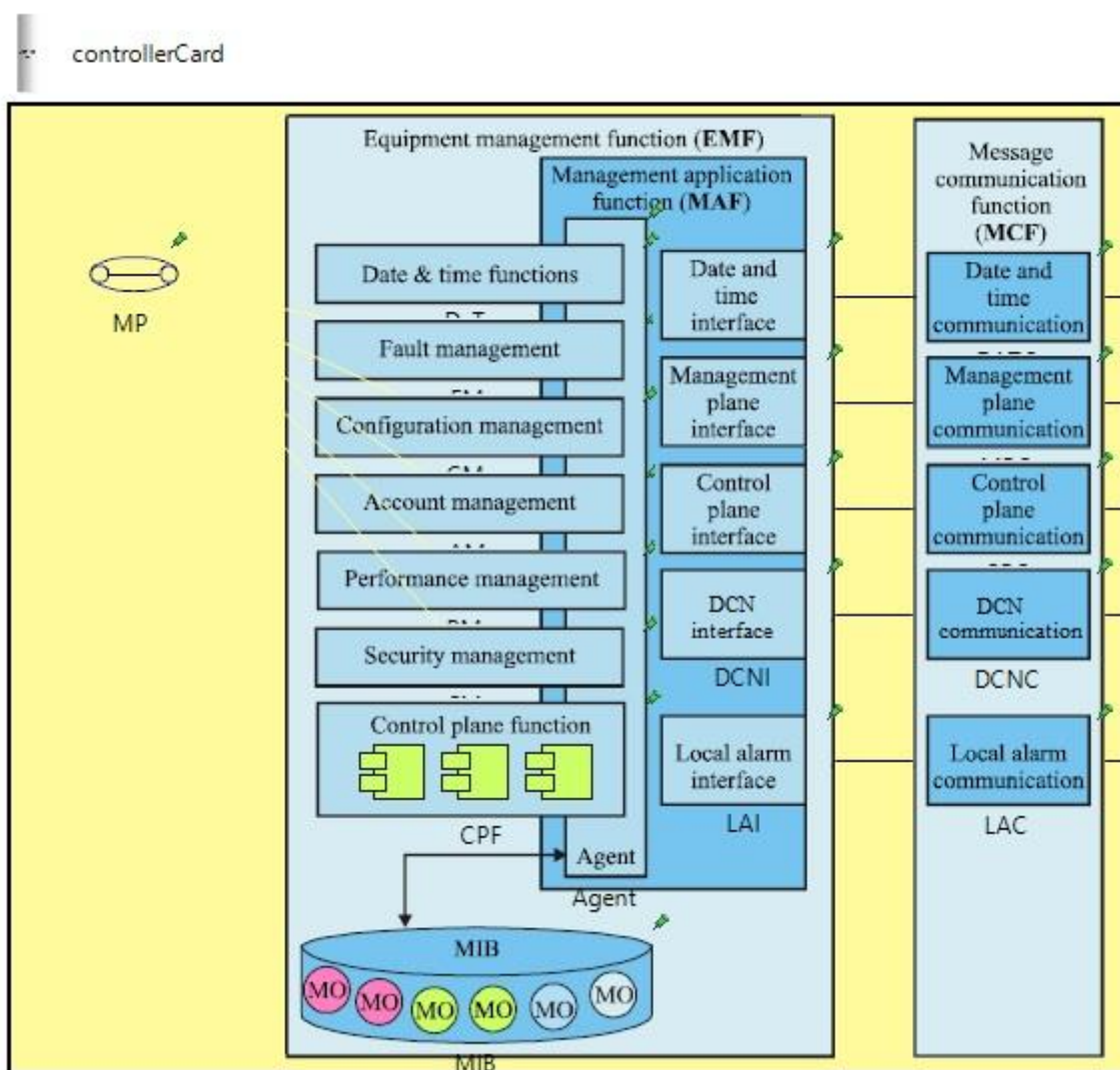


Figura 4-27 Card CC do OTN Switch

5 TESTES

Este capítulo tem por objetivo validar a arquitetura do OTN Switch desenvolvida nesta dissertação através de um teste no simulador OMNeT++. Inicialmente é descrita a rede usada como cenário de teste e as características de seus ONEs. Em seguida são apresentados os resultados gerados através da simulação.

5.1 REDE DE TESTE

O cenário de teste utilizado para validar a arquitetura do OTN Switch é composto por uma rede de sete equipamentos OTN Switch (OtnSwitch0 a OtnSwitch6) interligados e se comunicando com mensagens geradas pelos clientes conectados aos equipamentos, como ilustrado na Figura 5-1.

Com este cenário, espera-se demonstrar o funcionamento do OTN Switch, principalmente as funcionalidades de cross-conexão e multiplexação ópticas e digitais, com destaque para as seguintes características:

1. Multiplexação de sinais ODU com um estágio;
2. Multiplexação de sinais ODU com dois estágios;
3. Multiplexação de sinais OCh;
4. Cross-conexão digital com *passthrough*;
5. Cross-conexão digital com *add/drop*;
6. Cross-conexão óptica com *passthrough*;
7. Cross-conexão óptica com *add/drop*;
8. Implementação dos campos de *payload* e *overhead* óptico e digital, de acordo com as recomendações da ITU-T.

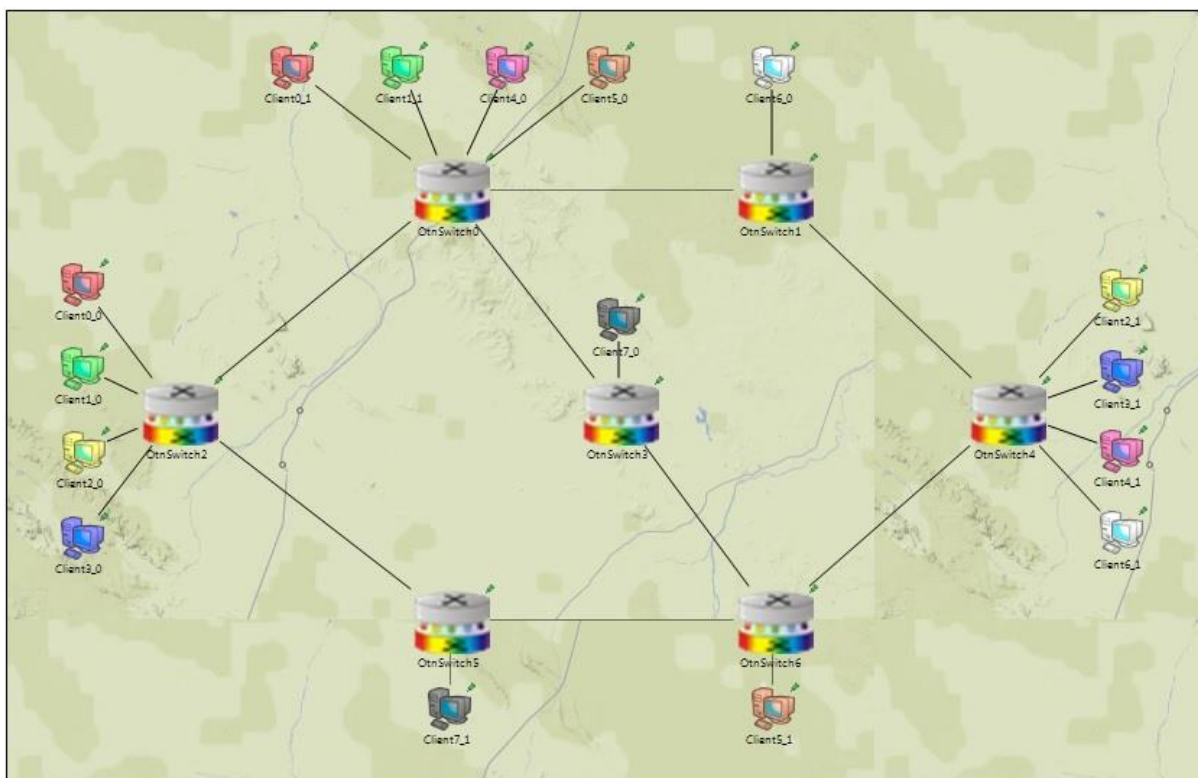


Figura 5-1 Rede de Teste

A interconexão das fibras entre os equipamentos pode ser vista na Figura 5-2. O índice da fibra conectada é indicado pelo valor F_n ($n = 0, 1$ ou 2), por exemplo, a fibra 1 (F1) do OTNSwitch0 está conectada com a fibra 0 (F0) do OTNSwitch1.

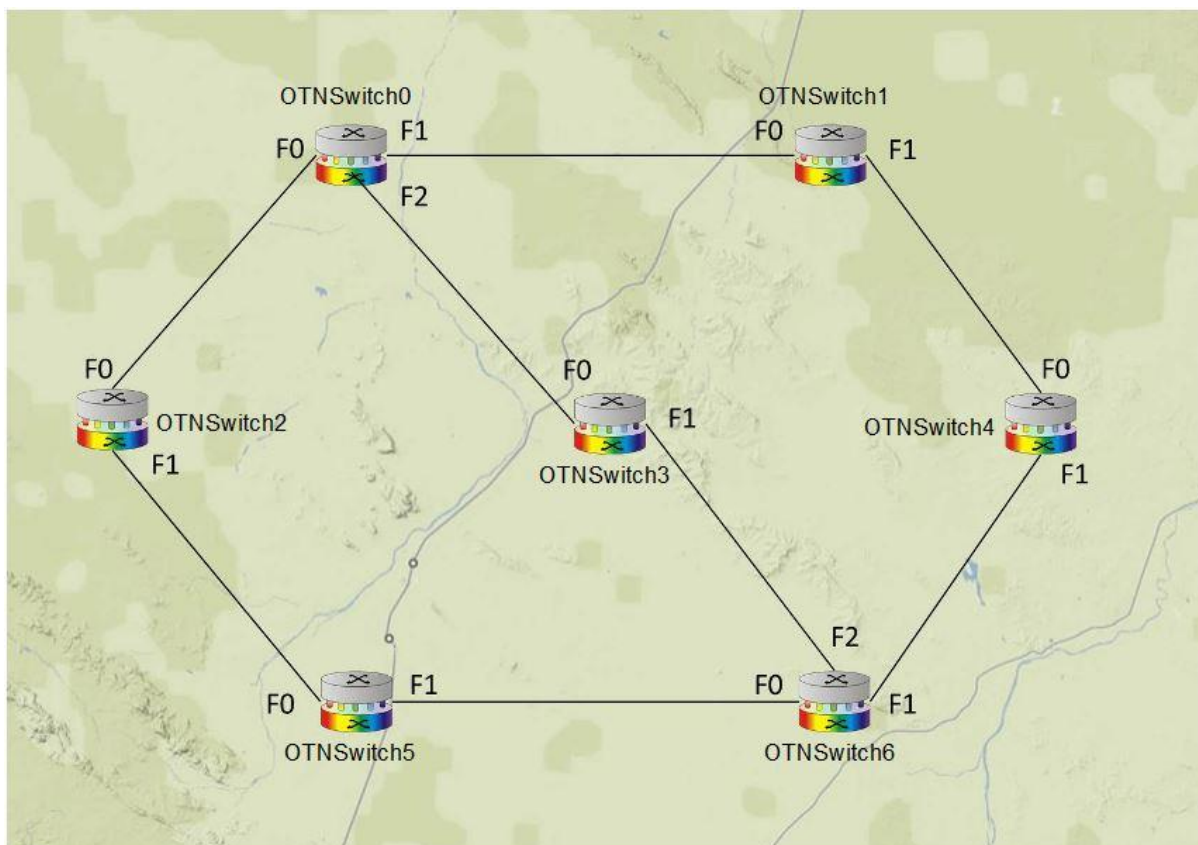


Figura 5-2 Interconexão das Fibras

Analisando as camadas ópticas, a interconexão dos comprimentos de onda entre os equipamentos é ilustrada na Figura 5-3. O índice do comprimento de onda é indicado pelo valor $WL\lambda$ ($\lambda = 0, 1, 2, 3, 4, 5$ ou 6). Note que o $WL0$ é utilizado apenas entre os equipamentos OTNSwitch0 e OTNSwitch2, sendo realizada a funcionalidade de *add/drop* óptico pelos WSSs dos equipamentos. Já o $WL4$ é transportado entre os OTNSwitch2, OTNSwtich5, OTNSwtich6 e OTNSwtich4, sendo realizada a funcionalidade de *add/drop* óptico pelos WSSs dos equipamentos das pontas e a funcionalidade de *passthrough* óptico pelos WSSs dos equipamentos do meio. Além disso, vale ressaltar que, através da multiplexação óptica, mais de um comprimento de onda pode ser transportado em uma única fibra, como no caso da fibra que conecta os OTNSwitch0 e OTNSwitch2 e propaga os $WL0$ e $WL1$.

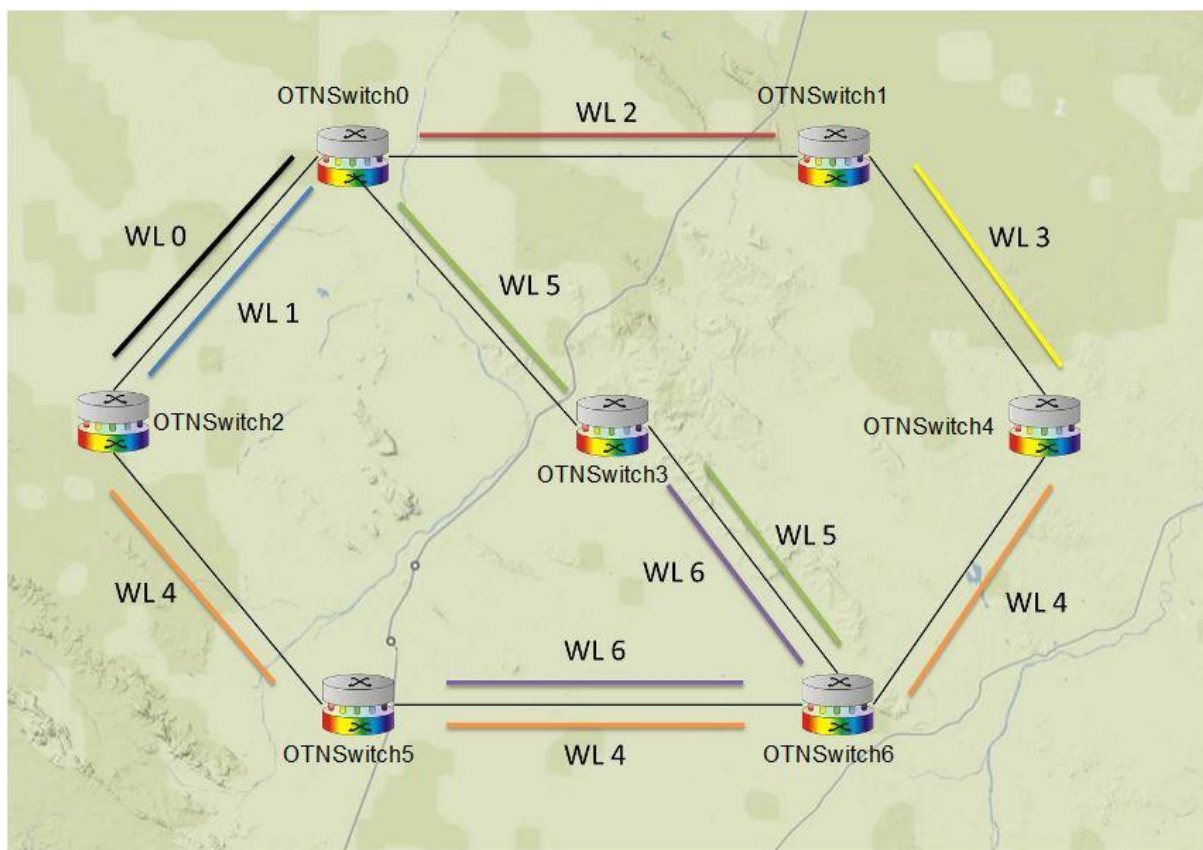


Figura 5-3 Mapeamento dos Comprimentos de Onda

Seguindo pela arquitetura digital, o transporte dos sinais OTU pode ser visto na Figura 5-4. Para este cenário de teste é utilizada a taxa de transmissão de 100 Gbps (OTU4), com exceção do enlace entre os equipamentos OTNSwitch0 e OTNSwitch1, que possui taxa de 40 Gbps (OTU3). Tais taxas só são possíveis devido a multiplexação de sinais ODU, pois alguns sinais clientes, descritos a seguir, possuem taxas inferiores à 40 Gbps.

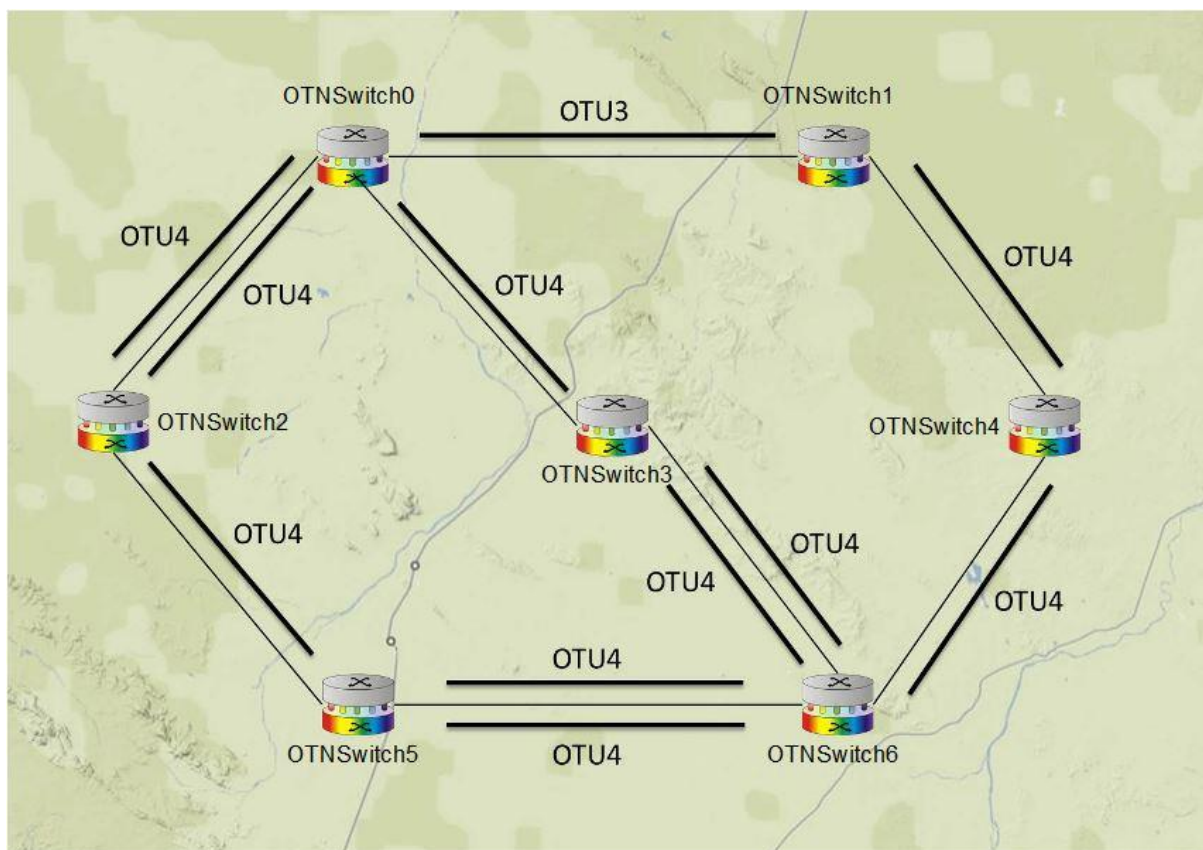


Figura 5-4 Mapeamento dos Sinais OTU

Observando a Figura 5-5, pode-se fazer algumas análises com relação aos sinais ODU presentes no cenário de teste. A figura indica os clientes ligados nos equipamentos OTN Switch, responsáveis por gerar todo tráfego na rede. Os pares de clientes que se comunicam são indicados pela nomenclatura Ci_0 e Ci_1 ($i = 0, 1, 2, 3, 4, 5, 6$ e 7), no qual o valor i determina qual o índice do cliente na rede e os sufixos “_0” e “_1” indicam que eles são um par (ex: $C2_0$ e $C2_1$ são o par de clientes que se comunicam e possuem índice igual a 2). Na figura também é possível ver a taxa do cliente, indicada pelo nome “ $ODUk(Ci)$ ” ($k = 0, 1, 2, 3$ e 4), por exemplo, o nome $ODU4(C5)$ indica que o cliente 5 possui taxa de 100 Gbps.

Nos comprimentos de onda WL0 e WL2 pode-se notar a existência de multiplexação de dois sinais ODU de alta ordem (WL0 com $ODU0(C0)$ e $ODU0(C1)$ e WL2 com $ODU1(C4)$ e $ODU2(C2)$), enquanto que nos WL1 e WL4 há multiplexação de apenas um sinal ODU (WL1 com $ODU2(C2)$ e WL4 com $ODU2(C3)$). Os WL5 e WL6 não possuem multiplexação de sinal ODU, transportando diretamente um sinal $ODU4$ que contém um cliente com taxa de transmissão de 100 Gbps ($ODU4(C5)$ e $ODU4(C7)$, respectivamente). O WL3 possui uma característica interessante de

NIC possuem mais de um modelo diferente. Na rede de teste apresentada foram utilizados cinco modelos de CIC e quatro modelos de NIC:

- CIC
 - *ModuleCicOdu0;*
 - *ModuleCicOdu1;*
 - *ModuleCicOdu2;*
 - *ModuleCicOdu3;*
 - *ModuleCicOdu4.*
- NIC
 - *ModuleNic;*
 - *ModuleNicOdu3*
 - *ModuleNicOdu4;*
 - *ModuleNicOduHO4LO3.*

A disposição dos módulos em cada equipamento OTN Switch é descrito na Tabela 5-1.

Tabela 5-1 Descrição dos OTN Switch

OTN Switch / Module	0	1	2	3	4	5	6
<i>Cic Odu0</i>	2	X	2	X	X	X	X
<i>Cic Odu1</i>	1	X	X	X	1	X	X
<i>Cic Odu2</i>	X	X	2	X	2	X	X
<i>Cic Odu3</i>	X	1	X	X	1	X	X
<i>Cic Odu4</i>	1	X	X	1	X	1	1
<i>Nic</i>	1	X	X	1	X	1	1
<i>Nic Odu4</i>	2	1	3	X	1	X	X
<i>Nic Odu3</i>	1	1	X	X	X	X	X

Nic Odu HO4 LO3	X	X	X	X	1	X	X
Oic	3	2	2	2	2	2	3

5.3 RESULTADOS

Para validar a troca de mensagens e algumas das funcionalidades do OTN Switch, a seguir são exibidos alguns *logs* gerados pelo OMNeT++. Os *logs* têm por objetivo mostrar o funcionamento da cross-conexão e multiplexação de sinais ópticos e digitais realizadas pelo OTN Switch no simulador, bem como mostrar que os sinais gerados pelas AF estão de acordo com as recomendações da ITU-T.

5.3.1 Log Reduzido

A Figura 5-6 e a Figura 5-7 ilustram o *log* referente ao caminho percorrido pelo cliente C2_0 (OTNSwitch2 → OTNSwitch0 → OTNSwitch1 → OTNSwitch4). As primeiras informações são a respeito do próprio cliente, sendo o tempo de envio (em segundos), o id da AF, o tipo de sinal cliente (10 Gbps) e a identificação do cliente (Client2_0(0)), onde o valor entre parênteses refere-se ao id da mensagem enviada pelo cliente.

Posterior às informações do cliente vem as de todas as AFs pelas quais o cliente trafega. Sequencialmente são exibidas as informações de tempo de envio da mensagem pela AF, id da AF, o *path* de onde se encontra a AF e o seu nome. Como exemplo tem-se a segunda linha do *trace* informando que o sinal nativo do cliente passou pela AF ODUkP_TT_So localizada no OTNSwitch2 no CIC tipo 2 (*cic2*) e ordem 0 (primeira CIC do vetor delimitado pelo valor de *nCardsCicOduk*), com id 322 e no tempo 0,5 segundos. No caso de uma multiplexação de sinal ODU (ODUkP_ODUj_21_A_[So/Sk]) são exibidos dois tempos distintos. O primeiro refere-se ao tempo em que o sinal ODUj chegou na AF e o segundo refere-se ao tempo em que o sinal ODUk, contendo o sinal cliente, foi enviado pela AF. Por fim são geradas

novamente as informações do cliente com destaque para o tempo em que o mesmo chega ao seu destino final.

Em nível de implementação, são considerados apenas como *delay* os tempos referentes aos *clocks* do sinal cliente e da multiplexação, a transmissão do sinal óptico pela fibra e a conversão O-E-O. Todos os demais tempos de propagação do sinal entre as camadas, de comutação do sinal, entre outros, são desconsiderados nesta dissertação. Com isso são destacados em vermelho os tempos de diferença gerados pela multiplexação, sendo o primeiro no momento em que o sinal ODUj chega na AF e o segundo gerado pelo *clock* interno da AF, indicando o momento de geração e envio do sinal ODUk. Em verde são destacados os tempos de conversão O-E-O ocorridos na AF $OCh_TT_ [So/Sk]$, calculados como a relação entre o número de *bits* do quadro OTUk (130.560 *bits*) e a sua taxa. Em amarelo são os tempos referentes à transmissão do sinal óptico na fibra entre dois equipamentos OTN Switch, calculados no *cOpticalChannel* como a relação entre a distância e a velocidade da luz no vácuo. Para o cenário de teste desta dissertação todas as distâncias foram consideradas como 100.000 m (Figura 5-8) e a velocidade da luz no vácuo como 299.792.458 m/s, gerando um *delay* de propagação de aproximadamente $3,33 \times 10^{-4}$ segundos.

```

----- Client Informations -----
0.5s / id: 13 / Client 10Gbps / Client2_0 (0)

----- Trace Informations -----
0.5s / id: 324 / Path: OtnSwitch2 / cic2 / cic[0] / ODUkP_CBRxb_A_So
0.5s / id: 322 / Path: OtnSwitch2 / cic2 / cic[0] / ODUkP_TT_So
0.5s / id: 331 / Path: OtnSwitch2 / oduSwitch / ODU C
0.5s / id: 360 / Path: OtnSwitch2 / nic0 / nic[1] / ODUkP_ODUj_21_A_So
0.5000008s / id: 360 / Path: OtnSwitch2 / nic0 / nic[1] / ODUkP_ODUj_21_A_So
0.5000008s / id: 362 / Path: OtnSwitch2 / nic0 / nic[1] / ODUkP_TT_So
0.5000008s / id: 364 / Path: OtnSwitch2 / nic0 / nic[1] / OTUk_ODUk_A_So
0.5000008s / id: 366 / Path: OtnSwitch2 / nic0 / nic[1] / OTUk TT So
0.5000008s / id: 367 / Path: OtnSwitch2 / nic0 / nic[1] / OCh_OTUk_a_A_So
0.500001967695s / id: 370 / Path: OtnSwitch2 / nic0 / nic[1] / OCh TT So
0.500001967695s / id: 389 / Path: OtnSwitch2 / wss / OCh_C
0.500001967695s / id: 400 / Path: OtnSwitch2 / oic / oic[0] / OMSn_OCh_A_So
0.500001967695s / id: 398 / Path: OtnSwitch2 / oic / oic[0] / OMSn TT So
0.500001967695s / id: 396 / Path: OtnSwitch2 / oic / oic[0] / OTSn OMSn A So
0.500001967695s / id: 394 / Path: OtnSwitch2 / oic / oic[0] / OTSn TT So
0.50033553179s / id: 142 / Path: OtnSwitch0 / oic / oic[0] / OTSn TT_Sk
0.50033553179s / id: 144 / Path: OtnSwitch0 / oic / oic[0] / OTSn_OMSn_A_Sk
0.50033553179s / id: 146 / Path: OtnSwitch0 / oic / oic[0] / OMSn TT_Sk
0.50033553179s / id: 148 / Path: OtnSwitch0 / oic / oic[0] / OMSn OCh A Sk
0.50033553179s / id: 137 / Path: OtnSwitch0 / wss / OCh_C
0.500336699485s / id: 103 / Path: OtnSwitch0 / nic0 / nic[1] / OCh TT_Sk
0.500336699485s / id: 102 / Path: OtnSwitch0 / nic0 / nic[1] / OCh_OTUk_a_A_Sk
0.500336699485s / id: 99 / Path: OtnSwitch0 / nic0 / nic[1] / OTUk TT_Sk
0.500336699485s / id: 97 / Path: OtnSwitch0 / nic0 / nic[1] / OTUk_ODUk_A_Sk
0.500336699485s / id: 95 / Path: OtnSwitch0 / nic0 / nic[1] / ODUkP TT Sk
0.500336699485s / id: 93 / Path: OtnSwitch0 / nic0 / nic[1] / ODUkP_ODUj_21_A_Sk
0.500434979356s / id: 93 / Path: OtnSwitch0 / nic0 / nic[1] / ODUkP_ODUj_21_A_Sk
0.500434979356s / id: 66 / Path: OtnSwitch0 / oduSwitch / ODU C
0.500434979356s / id: 113 / Path: OtnSwitch0 / nic1 / nic[0] / ODUkP_ODUj_21_A_So
0.500498285989s / id: 113 / Path: OtnSwitch0 / nic1 / nic[0] / ODUkP_ODUj_21_A_So
0.500498285989s / id: 115 / Path: OtnSwitch0 / nic1 / nic[0] / ODUkP TT So
0.500498285989s / id: 117 / Path: OtnSwitch0 / nic1 / nic[0] / OTUk_ODUk_A_So
0.500498285989s / id: 119 / Path: OtnSwitch0 / nic1 / nic[0] / OTUk TT So
0.500498285989s / id: 120 / Path: OtnSwitch0 / nic1 / nic[0] / OCh_OTUk_a_A_So
0.500501320968s / id: 123 / Path: OtnSwitch0 / nic1 / nic[0] / OCh TT So
0.500501320968s / id: 137 / Path: OtnSwitch0 / wss / OCh_C
0.500501320968s / id: 158 / Path: OtnSwitch0 / oic / oic[1] / OMSn_OCh_A_So
0.500501320968s / id: 156 / Path: OtnSwitch0 / oic / oic[1] / OMSn TT So
0.500501320968s / id: 154 / Path: OtnSwitch0 / oic / oic[1] / OTSn OMSn A So
0.500501320968s / id: 152 / Path: OtnSwitch0 / oic / oic[1] / OTSn TT So
0.500834885063s / id: 249 / Path: OtnSwitch1 / oic / oic[0] / OTSn TT_Sk

```

Figura 5-6 Log com informações do caminho percorrido pelo cliente (1)


```

0.500834885063s / id: 251 / Path: OtnSwitch1 / oic / oic[0] / OTSn_OMSn_A_Sk
0.500834885063s / id: 253 / Path: OtnSwitch1 / oic / oic[0] / OMSn_TT_Sk
0.500834885063s / id: 255 / Path: OtnSwitch1 / oic / oic[0] / OMSn_OCh_A_Sk
0.500834885063s / id: 245 / Path: OtnSwitch1 / wss / OCh_C
0.500837920042s / id: 243 / Path: OtnSwitch1 / nic3 / nic[0] / OCh_TT_Sk
0.500837920042s / id: 242 / Path: OtnSwitch1 / nic3 / nic[0] / OCh_OTUk_a_A_Sk
0.500837920042s / id: 239 / Path: OtnSwitch1 / nic3 / nic[0] / OTUk_TT_Sk
0.500837920042s / id: 237 / Path: OtnSwitch1 / nic3 / nic[0] / OTUk_ODUk_A_Sk
0.500837920042s / id: 212 / Path: OtnSwitch1 / oduSwitch / ODU_C
0.500837920042s / id: 221 / Path: OtnSwitch1 / nic0 / nic[0] / ODUkP_ODUj_21_A_So
0.500887312s / id: 221 / Path: OtnSwitch1 / nic0 / nic[0] / ODUkP_ODUj_21_A_So
0.500887312s / id: 223 / Path: OtnSwitch1 / nic0 / nic[0] / ODUkP_TT_So
0.500887312s / id: 225 / Path: OtnSwitch1 / nic0 / nic[0] / OTUk_ODUk_A_So
0.500887312s / id: 227 / Path: OtnSwitch1 / nic0 / nic[0] / OTUk_TT_So
0.500887312s / id: 228 / Path: OtnSwitch1 / nic0 / nic[0] / OCh_OTUk_a_A_So
0.500888479695s / id: 231 / Path: OtnSwitch1 / nic0 / nic[0] / OCh_TT_So
0.500888479695s / id: 245 / Path: OtnSwitch1 / wss / OCh_C
0.500888479695s / id: 265 / Path: OtnSwitch1 / oic / oic[1] / OMSn_OCh_A_So
0.500888479695s / id: 263 / Path: OtnSwitch1 / oic / oic[1] / OMSn_TT_So
0.500888479695s / id: 261 / Path: OtnSwitch1 / oic / oic[1] / OTSn_OMSn_A_So
0.500888479695s / id: 259 / Path: OtnSwitch1 / oic / oic[1] / OTSn_TT_So
0.50122204379s / id: 603 / Path: OtnSwitch4 / oic / oic[0] / OTSn_TT_Sk
0.50122204379s / id: 605 / Path: OtnSwitch4 / oic / oic[0] / OTSn_OMSn_A_Sk
0.50122204379s / id: 607 / Path: OtnSwitch4 / oic / oic[0] / OMSn_TT_Sk
0.50122204379s / id: 609 / Path: OtnSwitch4 / oic / oic[0] / OMSn_OCh_A_Sk
0.50122204379s / id: 599 / Path: OtnSwitch4 / wss / OCh_C
0.501223211485s / id: 597 / Path: OtnSwitch4 / nic2 / nic[0] / OCh_TT_Sk
0.501223211485s / id: 596 / Path: OtnSwitch4 / nic2 / nic[0] / OCh_OTUk_a_A_Sk
0.501223211485s / id: 593 / Path: OtnSwitch4 / nic2 / nic[0] / OTUk_TT_Sk
0.501223211485s / id: 591 / Path: OtnSwitch4 / nic2 / nic[0] / OTUk_ODUk_A_Sk
0.501223211485s / id: 589 / Path: OtnSwitch4 / nic2 / nic[0] / ODUkP_TT_Sk
0.501223211485s / id: 587 / Path: OtnSwitch4 / nic2 / nic[0] / ODUkP_ODUj_21_A_Sk
0.501229720748s / id: 587 / Path: OtnSwitch4 / nic2 / nic[0] / ODUkP_ODUj_21_A_Sk
0.501229720748s / id: 585 / Path: OtnSwitch4 / nic2 / nic[0] / ODUkP_TT_Sk
0.501229720748s / id: 583 / Path: OtnSwitch4 / nic2 / nic[0] / ODUkP_ODUj_21_A_Sk
0.50123958529s / id: 583 / Path: OtnSwitch4 / nic2 / nic[0] / ODUkP_ODUj_21_A_Sk
0.50123958529s / id: 554 / Path: OtnSwitch4 / oduSwitch / ODU_C
0.50123958529s / id: 537 / Path: OtnSwitch4 / cic2 / cic[0] / ODUkP_TT_Sk
0.50123958529s / id: 539 / Path: OtnSwitch4 / cic2 / cic[0] / ODUkP_CBRxb_A_Sk

----- Client Informations -----

0.50123958529s / id: 14 / Client 10Gbps / Client2_0 (0)

```

Figura 5-7 Log com informações do caminho percorrido pelo cliente (2)

```

//OTNSwitch <--> OTNSwitch
OtnSwitch0.fiber[1] <--> cOpticalChannel { distance = 100000; } <--> OtnSwitch1.fiber[0];
OtnSwitch0.fiber[0] <--> cOpticalChannel { distance = 100000; } <--> OtnSwitch2.fiber[0];
OtnSwitch0.fiber[2] <--> cOpticalChannel { distance = 100000; } <--> OtnSwitch3.fiber[0];
OtnSwitch1.fiber[1] <--> cOpticalChannel { distance = 100000; } <--> OtnSwitch4.fiber[0];
OtnSwitch2.fiber[1] <--> cOpticalChannel { distance = 100000; } <--> OtnSwitch5.fiber[0];
OtnSwitch3.fiber[1] <--> cOpticalChannel { distance = 100000; } <--> OtnSwitch6.fiber[2];
OtnSwitch4.fiber[1] <--> cOpticalChannel { distance = 100000; } <--> OtnSwitch6.fiber[1];
OtnSwitch5.fiber[1] <--> cOpticalChannel { distance = 100000; } <--> OtnSwitch6.fiber[0];

```

Figura 5-8 Parâmetro de distância inserido no cOpticalChannel

5.3.2 Log Completo

A seguir são exibidos trechos do caminho percorrido pelo cliente Client2_0, dessa vez com um *log* mais completo. A versão inteira desse *log* encontra-se no Apêndice I. O *log* completo é dividido em informações referentes a cada AF pela qual o sinal cliente nativo trafega. Informações como nome da AF, localização da AF, identificador da mensagem criada pelo cliente, id da AF, campos de *overhead* OTN e tempo de envio do sinal pela AF são descritos. Além disso, nas AFs Sk são exibidos os atributos internos de sinais recebidos, defeitos gerados, correlação de defeitos e ações consequentes. A Figura 5-9 exibe inicialmente as informações do cliente, contendo sua identificação e a da mensagem enviada, o id da AF que gera os sinais clientes e o tempo de envio.

```

----- Client Informations -----

MSG identification: Client2_0 (10)
AF id: 13
MSG Client 10Gbps Sent Time: 0.50012190999
-----

```

Figura 5-9 Informações do sinal cliente geradas pelo *log*

A Figura 5-10 exibe as informações geradas pelas AFs ODUkP_CBRxB_A_So e ODUkP_TT_So, responsáveis pela adaptação do sinal cliente em um sinal OPU e posteriormente em um sinal ODU. Dentre as informações geradas pela primeira AF vale destacar os valores de PT e CSF (*Client Signal Fail*), pertencentes ao *overhead* OPU. Seguindo as recomendações da ITU-T, o valor de PT é 3 ("0000 0011") e o valor de CSF é 0. Destacam-se também as informações do campo PM (*Path Monitoring*) do *overhead* ODU, sendo o valor de PM STAT (*Status*) igual a "001" e os demais campos com valor igual a 0. Em nível de implementação, o campo TTI (*Trail Trace Identifier*) foi definido como uma *string* de 64 caracteres, cada um representando um *byte*, sendo os 32 primeiros inicializados com valor 0 enquanto os demais são reservados (RES). Os demais campos do *overhead* ODU não são implementados nesta dissertação. A partir da AF ODUkP_TT_So são geradas informações a respeito do preenchimento dos campos TTI, BDI (*Backward Defect Indication*), BEI (*Backward Error Indication*) e BIP8 (*Bit Interleaved Parity*). Os campos BDI e BEI são preenchidos com valor 0 por não haver indicação de erros e

defeitos no sinal, o campo TTI é preenchido também com valor 0 por não haver o monitoramento no teste desta dissertação e o campo BIP8 é preenchido conforme o esperado pela recomendação ITU-T G.709.

```
----- ODUkP_CBRxb_A_So Informations -----  
Path: OtnSwitch2 / cic2 / cic[0]  
MSG identification: Client2_0 (10)  
  
AF id:324  
OPU PT:48  
OPU CSF:0  
  
ODU id:324  
ODU  
PM IxTI:00000000000000000000000000000000RESRESRESRESRESRESRESRESRESRESRESRE  
ODU PM_BIP8:0  
ODU PM_BDI:0  
ODU PM_BEI:0  
ODU PM_STAT:001  
  
MSG ODU2 Sent Time: 0.50012190999  
  
-----  
----- ODUkP_TT_So Informations -----  
Path: OtnSwitch2 / cic2 / cic[0]  
MSG identification: Client2_0 (10)  
  
AF id:322  
ODU  
PM TTI:00000000000000000000000000000000RESRESRESRESRESRESRESRESRESRESRESRE  
ODU PM_BDI:0  
ODU PM_BEI:0  
ODU PM_BIP8:758701  
  
MSG ODU2 Sent Time: 0.50012190999
```

Figura 5-10 Informações da adaptação e terminação do sinal ODU geradas pelo *log*

A Figura 5-11 exibe as informações provenientes da ODU_C, que é responsável pela comutação de sinais ODU. Dentre as informações, vale destacar a indicação dos *gates* de entrada e saída pelos quais o sinal ODU trafega. No exemplo ilustrado, o sinal ODU entra pelo *gate* 4 e sai pelo *gate* 90, ou seja, é realizado um *add/drop* digital entre o *cic2[0]* e o *nic0[1]*, conforme descrito anteriormente.

```

----- ODU_C Informations -----

Path: OtnSwitch2 / oduSwitch
MSG identification: Client2_0 (10)

AF id:331

-----ODU Switch-----
Gate IN: 4
Gate OUT: 90

MSG ODU2 Sent Time: 0.50012190999
-----

```

Figura 5-11 Informações da comutação de sinais ODU geradas pelo log

Na Figura 5-12 e na Figura 5-13 são exibidas as informações da AF ODUkP_ODUj_21_A_So, responsável pela multiplexação de sinais ODU. O log dessa AF é dividido em dois trechos, o primeiro com informações a respeito do sinal ODUj de entrada e o segundo do sinal ODUk multiplexado. Na primeira parte destacam-se o tempo em que o sinal ODUj chegou na AF, o valor dos campos FAS (*Frame Alignment Signal*) e MFAS (*MultiFrame Alignment Signal*) e as informações de *gate* de entrada do sinal na AF e número do TS ocupado. Como descrito em (Dilem, 2011), a implementação da multiplexação não particiona o sinal ODUj entre os seus TS, mas sim insere um sinal único em cada TS pertencente a ele. Na segunda parte destacam-se as informações de preenchimento dos campos PSI e OMFI do sinal OPUk e do campo STAT do sinal ODUk. Os campos TTI, BIP8, BDI e BEI do *overhead* ODUk são inicializados com valor 0, da mesma forma como mencionado anteriormente. Além disso, vale ressaltar o tempo de envio do sinal ODUk, verificando assim o tempo de *delay* gerado pela multiplexação. As informações da AF ODUkP_TT_So pertencente ao sinal ODUk multiplexado são exibidas apenas no Apêndice I por serem semelhantes às do sinal ODUj, mostradas anteriormente.

detecção de perda de sinal. Para a implementação da potência do sinal óptico foram definidos os valores de *LOW_POWER_THRESHOLD*, *HIGH_POWER*, *LOW_POWER* e *IDLE_POWER* (Figura 5-16). Vale ressaltar ainda a diferença de tempo de envio entre as duas AFs, ocasionado pelo *delay* de conversão O-E-O na segunda AF.

```

----- OCh_OTUk_A_So Informations -----

Path: OtnSwitch2 / nic0 / nic[1]
MSG identification: Client2_0 (10)

AF id:367
OCh FAS:111101101111011011110110001010000010100000101000
OCh MFAS:161

MSG OCh Sent Time: 0.500197168

-----

----- OCh_TT_So Informations -----

Path: OtnSwitch2 / nic0 / nic[1]
MSG identification: Client2_0 (10)

AF id:370
OCh Power:10

MSG OCh Sent Time: 0.500198335695

-----

```

Figura 5-15 Informações da adaptação e terminação do sinal OCh geradas pelo log

```

// Signal power configurations
#define LOW_POWER_THRESHOLD 2.5    // Power value threshold to detect errors.
#define HIGH_POWER 10    // Acceptable power value.
#define LOW_POWER 1    // Low power value - triggers error.
#define IDLE_POWER 3    // Idle power value - laser off, but working.

```

Figura 5-16 Configuração da potência do sinal óptico

A Figura 5-17 ilustra as informações geradas na AF OCh_C, responsável pela comutação do sinal OCh. Dentre as informações, vale destacar a indicação dos *gates* de entrada e saída pelos quais o sinal OCh trafega. No exemplo ilustrado, o sinal OCh entra pelo *gate* 1 e sai pelo *gate* 8, ou seja, é realizado um *add/drop* óptico entra o *nic0[1]* e o *oic0[0]*, conforme descrito anteriormente.

```

----- OCh_C Informations -----

Path: OtnSwitch2 / wss
MSG identification: Client2_0 (10)

AF id:389

-----WL Switch-----
Gate IN: 1
Gate OUT: 8

MSG OCh Sent Time: 0.500198335695

-----

```

Figura 5-17 Informações da comutação de sinais OCh geradas pelo log

A Figura 5-18 exibe as informações das AFs OMS_OCh_A_So e OMS_TT_So responsáveis pela multiplexação de sinais OCh e sinais OMS. A primeira AF exibe a informação do *wavelength* no qual o sinal OCh foi inserido. A segunda AF exibe apenas as informações padrões de todas as outras AFs.

```

----- OMS_OCh_A_So Informations -----

Path: OtnSwitch2 / oic[0]
MSG identification: Client2_0 (10)

AF id:400
OMS WaveLength:1

MSG OMS Sent Time: 0.500198335695

-----

----- OMS_TT_So Informations -----

Path: OtnSwitch2 / oic[0]
MSG identification: Client2_0 (10)

AF id:398

MSG OMS Sent Time: 0.500198335695

-----

```

Figura 5-18 Informações da multiplexação de sinais OCh e terminação de sinal OMS geradas pelo log

A Figura 5-19 exibe as informações das AFs OTS_OMS_A_So e OTS_TT_So responsáveis pela adaptação do sinal OMS em um sinal OTS. Semelhante a

OMS_TT_So, as duas AFs exibem apenas as informações padrões de todas as outras AFs.

```

----- OTS_OMS_A_So Informations -----

Path: OtnSwitch2 / oic[0]
MSG identification: Client2_0 (10)

AF id:396

MSG OTS Sent Time: 0.500198335695

-----

----- OTS_TT_So Informations -----

Path: OtnSwitch2 / oic[0]
MSG identification: Client2_0 (10)

AF id:394

MSG OTS Sent Time: 0.500198335695

-----

```

Figura 5-19 Informações da adaptação e terminação do sinal OTS geradas pelo log

No sentido inverso (lado Sk), todas as AFs exibem as mesmas informações do lado So, mostrando os valores dos campos de *overhead*, tempo de envio, localização da AF, entre outros. Além disso, elas exibem ainda as informações de defeitos gerados, correlação de defeitos e ações consequentes, como descrito na recomendação ITU-T G.798. Como exemplo, a Figura 5-20 e a Figura 5-21 ilustram o *log* gerado pela AF ODUkP_ODUj_21_A_Sk, responsável pela demultiplexação dos sinais ODUk em sinais ODUj. Semelhante ao lado So, a primeira parte exhibe as informações do sinal ODUk. Dentre elas, destacam-se o tempo em que o sinal foi armazenado em uma das filas da demultiplexação, juntamente com os valores de seus campos de *overhead*, valor do TS correspondente e atributos internos comuns aos sinais ODUk. A segunda parte exhibe as informações do sinal ODUj demultiplexado. Dentre elas, vale ressaltar aquelas que são referentes ao *gate* de saída do sinal, aos seus atributos internos específicos de cada ODUj e ao tempo de envio do sinal.


```

---- ODUkP_ODUj_21_A_Sk Informations ----

Path: OtnSwitch0 / nic0 / nic[1]
MSG identification: Client2_0 (10)

AF id:93

--- Demultiplexing ODU4 to ODU2 ---

Gate ODU2_CP Index: 0

--- Internal Attributes (Specific) ---

Signals Received:
N/A
Defects:
dMSIM: 0 - dLOFLOM: 0
Defect Correlations:
cMSIM: 0 - cLOFLOM: 0
Consequent Actions:
CI_SSF: 0 - CI_SSD: 0 - aAIS: 0

MSG ODU2 Sent Time: 0.50056241894

```

Figura 5-21 Informações da demultiplexação de sinais ODU geradas pelo *log* (2)

Conforme as recomendações da ITU-T, separado do sinal óptico, que contém as informações das camadas OPU, ODU e OTU, existe um sinal contendo as informações do *overhead* óptico, contemplando as camadas OCh, OMS e OTS. Tal sinal é gerado na OIC e enviado separadamente do sinal que contém o sinal cliente. A Figura 5-22 ilustra o *log* gerado com tais informações.

O *log* informa primeiramente quem gerou o sinal de *overhead* óptico. Logo após aparecem as informações das camadas ópticas. Na OCh, encontram-se os campos de FDI-P (*Forward Defect Indication Payload*), FDI-O (*Forward Defect Indication Overhead*) e OCI. No *log* é possível verificar tais valores para cada *wavelength*. Na OMS, encontram-se os campos de FDI-P, FDI-O, BDI-P (*Backward Defect Indication Payload*), BDI-O (*Backward Defect Indication Overhead*) e PMI (*Payload Missing Indication*). Na camada OTS encontram-se os campos de TTI, BDI-P, BDI-O e PMI. Os valores de cada campo são preenchidos conforme as recomendações da ITU-T.

6 CONCLUSÃO

Este capítulo apresenta as conclusões desta dissertação. Primeiramente são mostrados os resultados obtidos com a implementação e a simulação da arquitetura OTN Switch no simulador e, em seguida, são apontados trabalhos futuros, complementares a este.

6.1 RESULTADOS

Nesta dissertação foi apresentada uma proposta de arquitetura para o equipamento OTN Switch. Foram apresentadas suas principais características, suas funcionalidades e seus módulos internos. Como forma de validação da proposta, no Capítulo 5 são apresentados trechos de *logs* obtidos durante a simulação do OTN Switch implementado para o simulador OMNeT++ que demonstram o funcionamento de cada AF presente no equipamento, segundo as recomendações da ITU-T.

Embora seja notável um distanciamento entre as normas padronizadoras de redes e a atividade cotidiana de fabricantes e operadores, a ITU-T e outros órgãos padronizadores vem atualizando suas recomendações na tentativa de manter sua tecnologia atualizada e de acordo com as movimentações do mercado. O modelo da arquitetura proposta nesta dissertação foi desenvolvido segundo as recomendações da ITU-T, o que o torna um equipamento com capacidade de interoperabilidade com outros padronizados.

Como principal objetivo desta dissertação, o desenvolvimento e a implementação no simulador OMNeT++ da arquitetura de OTN Switch foram realizados com sucesso. Tal arquitetura possui, como previsto, capacidade para as funcionalidades cross-conexão e multiplexação de sinais ópticos e digitais em redes OTN, sendo gerenciada pela Gerência de Equipamentos, previsto na recomendação ITU-T G.805.

Com tais funcionalidades e a flexibilidade de inserir/retirar *cards*, o OTN Switch pode ter diversos comportamentos em uma rede OTN. Ele pode se comportar como um *host* OTN completo com entrada de sinal cliente, passando pelas camadas digitais e sendo enviado como sinal óptico. Pode se comportar como um ROADM, utilizando apenas a parte óptica do equipamento com as AFs relativas às camadas OCh, OMS e OTS, além do comutador óptico (OCh_C). Outro exemplo de comportamento é de um *passtrought* em nível digital, realizado pelo comutador digital (ODU_C), podendo operar apenas para a multiplexação de sinais ODU tendo em vista um destino único.

Como resultado desta dissertação, tem-se um aprimoramento do *framework* de simulação em desenvolvimento, além de documentos de estudos e soluções para o uso em projetos de graduação de alunos dos cursos de Engenharia de Computação e Elétrica, do mestrado em Engenharia Elétrica e em projetos sendo executados pelas equipes de pesquisa do LabTel. Há ainda o desenvolvimento do artigo visto em (DILEM, FAVORETO, *et al.*, 2013), apresentado na SBrT 2013.

6.2 TRABALHOS FUTUROS

O equipamento OTN Switch é altamente flexível, configurável e gerenciável. Devido a essas características, os próximos passos da linha de pesquisa consistem em desenvolver novas soluções de plano de controle e gerência, de forma a aperfeiçoar a utilização de recursos da rede, estabelecer conexões dinâmicas sob demanda, prover proteção e restauração, aumentando assim a automatização da rede e, consequentemente, reduzindo a intervenção humana. Um exemplo de uma solução de plano de controle para o equipamento OTN Switch pode ser visto em (BUELONI, 2014).

Referente ao plano de transporte OTN utilizado na arquitetura do OTN Switch, como trabalho futuro há a implementação das demais funcionalidades presentes nos campos de *overhead* ODU e OTU não contempladas nesta dissertação. No quadro ODU tem os campos GCC e TCM que realizam, respectivamente, os canais de comunicação gerais e o *Tandem Connection*. No quadro OTU tem apenas o campo GCC, para a mesma funcionalidade presente na ODU.

Como trabalho futuro há também a utilização dos demais módulos, ausentes nos testes desta dissertação, em diferentes cenários de testes, incluindo os cenários explorados nos trabalhos correlacionados.

7 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

BUELONI, L. G. B. **Proposta de Plano de Controle para Redes Ópticas de Transporte Utilizando LSP Hierárquicos**. Universidade Federal do Espírito Santo. Vitória. 2014.

DILEM, M. B. **Estudo e Implementação da Funcionalidade de Multiplexação de ODU's em Redes Ópticas de Transporte utilizando o Simulador OMNeT++**. Universidade Federal do Espírito Santo. Vitória, p. 52. 2011.

DILEM, M. B. et al. **Proposta de Arquitetura OTN Switch Segundo as Recomendações ITU-T. SBrT2013**, Vitória, 2013.

FANG, C.; CHEN, X. A Novel Scheme for Realization of Flexible ODU Hitless Resizing. **Symposium on Photonics and Optoelectronic (SOPO)**, 2010. Disponível em: <http://ieeexplore.ieee.org/xpls/abs_all.jsp?arnumber=5504134>. Acesso em: 19 Março 2013.

FAVORETO, F. P. **Plano de Controle GMPLS para Redes Ópticas de Transporte**. Universidade Federal do Espírito Santo. Vitória, p. 131. 2009.

FAVORETO, R. C. **Implementação de arquitetura do plano de gerência em Redes OTN no Simulador OMNeT++ de acordo com a Recomendação ITU-T G.874**. Universidade Federal do Espírito Santo. Vitória, p. 67. 2011.

FAVORETO, R. C. **Uma Proposta de Solução para Levantamento do Inventário dos Elementos de Rede em Redes Ópticas de Transporte**. Universidade Federal do Espírito Santo. Vitória. 2014.

FERRARI, F. F. **Uso do LMP para Descoberta Automática e Gerenciamento de Enlaces em Redes OTN**. Universidade Federal do Espírito Santo. Vitória, p. 107. 2011.

FRIGINI, F. N. **Modelagem Das Camadas Digitais De Uma Rede Óptica De Transporte No Simulador OMNeT++ De Acordo Com A Recomendação ITU-T G.798**. Universidade Federal do Espírito Santo. Vitória, p. 71. 2010.

FUKUTOKU, M.; OHARA, T.; KADOHATA, A. Optimized multi-layer optical network using in-service ODU / wavelength path re-grooming. **Optical Fiber Communication Conference and Exposition/National Fiber Optic Engineers Conference (OFC/NFOEC)**, 2011. Disponível em: <http://ieeexplore.ieee.org/xpls/abs_all.jsp?arnumber=5875190>. Acesso em: 20 Março 2013.

GÉANT. **OTN and NG-OTN: Overview**. [S.l.]. 2011. http://www.geant.net/Research/Future_Network_Research/Documents/OTN_and_NG-OTN_Overview.pdf.

IETF. **RFC 3945: Generalized Multi-Protocol Label Switching (GMPLS) Architecture**. [S.l.]. 2004. <https://tools.ietf.org/html/rfc3945>.

INET. Disponível em: <<http://inet.omnetpp.org/>>. Acesso em: Agosto 2013.

INIEWSKI, K.; MCCROSKY, C.; MINOLI, D. **Network Infrastructure And Architecture**. New Jersey: Wiley Interscience, 2008.

ITU-T. **G.805: Generic functional architecture of transport networks**. [S.l.]. 2000. <http://www.itu.int/rec/T-REC-G.805-200003-I/en>.

ITU-T. **Optical Transport Networks from TDM to Packet**. [S.l.]: [s.n.], 2010.

ITU-T. **G.873.1: Optical Transport Network (OTN): Linear protection**. [S.l.]. 2011. <http://www.itu.int/rec/T-REC-G.873.1-201107-S/en>.

ITU-T. **G.709: Interfaces for the Optical Transport Network (OTN)**. [S.l.]. 2012. <http://www.itu.int/rec/T-REC-G.709-201202-I/en>.

ITU-T. **G.7710: Common equipment management function requirements**. [S.l.]. 2012. <http://www.itu.int/rec/T-REC-G.7710-201202-I/en>.

ITU-T. **G.798: Characteristics of optical transport network hierarchy equipment functional blocks**. [S.l.]. 2012. <http://www.itu.int/rec/T-REC-G.798-201212-I/en>.

ITU-T. **G.872: Architecture of Optical Transport Networks**. [S.l.]. 2012. <http://www.itu.int/rec/T-REC-G.872-201210-I/en>.

ITU-T. **G.874.1: Optical transport network (OTN): Protocol-neutral management information model for the network element view.** [S.l.]. 2012. <http://www.itu.int/rec/T-REC-G.874.1-201210-I/en>.

ITU-T. **G.798.1: Types and characteristics of optical transport network equipment.** [S.l.]. 2013. <http://www.itu.int/rec/T-REC-G.798.1-201301-I/en>.

ITU-T. **G.874: Management aspects of the optical transport network elements.** [S.l.], p. 56. 2013. <http://www.itu.int/rec/T-REC-G.874-201308-I/en>.

ITU-T. Standardization (ITU-T). Disponível em: <<http://www.itu.int/ITU-T/>>. Acesso em: 01 Agosto 2013.

KARTALOPOULOS, S. V. **Next Generation Intelligent Optical Networks.** Tulsa: Springer, 2008.

KNUDSEN-BAAS, H. **OTN switching.** Norwegian University of Science and Technology. Trondheim, p. 140. 2011.

LABTEL. LabTel. Disponível em: <www.labtel.ele.ufes.br>. Acesso em: Agosto 2013.

OIF (OPTICAL INTERNETWORKING FORUM). **http:** //www.oiforum.com, Novembro 2011. Disponível em: <<http://www.oiforum.com/public/documents/oif-ofp-01.0.pdf>>. Acesso em: 15 Março 2013.

RAMASWAMI, R.; SIVARAJAN, K.; SASAKI, G. **Optical Networks: A Practical Perspective,** 3rd Edition. [S.l.]: Morgan Kaufmann, 2010.

SCHMITT, A. <http://www.infonetics.com>. **http:** //www.infonetics.com, Junho 2012. Disponível em: <<http://www.infonetics.com/whitepapers/2012-Infonetcs-Whitepaper-Integrated-OTN-Switching-June-2012.pdf>>. Acesso em: 21 Março 2013.

SILVA, E. N. **Estudo e Modelagem da Funcionalidade de Proteção Linear em Redes Ópticas de Transporte no Simulador OMNeT++.** Universidade Federal do Espírito Santo. Vitória, p. 68. 2013.

TESSINARI, R. S. **Mapeamento de Equipamentos Ópticos e Modelagem de Redes OTN no Simulador OMNeT++ de acordo com a Recomendação ITU-T G.798**. Universidade Federal do Espírito Santo. Vitória, p. 75. 2009.

TESSINARI, R. S. **Integração do Plano de Transporte com os Planos de Controle e de Gerência em Redes OTN: Uma Abordagem Via Simulação**. Universidade Federal do Espírito Santo. Vitória, p. 105. 2011.

VARGAS, A. OMNeT++. **Site do OMNeT++**, 2013. Disponível em: <<http://www.omnetpp.org>>. Acesso em: 01 Agosto 2013.

ZHANG, H. et al. The EXC management in the OTN over WDM network. **3rd IEEE International Conference on Broadband Network and Multimedia Technology (IC-BNMT)**, 2010. Disponível em: <http://ieeexplore.ieee.org/xpls/abs_all.jsp?arnumber=5705113&tag=1>. Acesso em: 20 Março 2013.

 ----- ODU_C Informations -----

Path: OtnSwitch2 / oduSwitch
 MSG identification: Client2_0 (10)

AF id:331

-----ODU Switch-----
 Gate IN: 4
 Gate OUT: 90

MSG ODU2 Sent Time: 0.50012190999

 ---- ODUkP_ODUj_21_A_So Informations ----

Path: OtnSwitch2 / nic0 / nic[1]
 MSG identification: Client2_0 (10)
 MSG ODU2 Arrived Time: 0.50012190999

AF id:360

--- Creating OTU2 to insert FAS and MFAS ---

FAS: 111101101111011011110110001010000010100000101000
 MFAS: 10

--- ODU2 inserted in ODTU Queue ---

Gate ODU2_CP Index: 0
 TS position: 2

 ---- ODUkP_ODUj_21_A_So Informations ----

Path: OtnSwitch2 / nic0 / nic[1]
 MSG identification: Client2_0 (10)

--- Multiplexing ODU2 into ODU4 ---

AF id:360
 OPU PSI:0
 OPU OMFI:1

ODU
 PM_TxTI:00000000000000000000000000000000RESRESRESRESRESRESRESRESR
 E
 ODU PM_BIP8:0
 ODU PM_BDI:0
 ODU PM_BEI:0
 ODU PM_STAT:001

MSG ODU4 Sent Time: 0.500197168

 ----- ODUkP_TT_So Informations -----

Path: OtnSwitch2 / nic0 / nic[1]
 MSG identification: Client2_0 (10)

AF id:362

ODU

PM_TTI:00000000000000000000000000000000RESRESRESRESRESRESRESRESRESRESRE

ODU PM_BDI:0

ODU PM_BEI:0

ODU PM_BIP8:766793

MSG ODU4 Sent Time: 0.500197168

 ----- OTUk_ODUk_A_So Informations -----

Path: OtnSwitch2 / nic0 / nic[1]
 MSG identification: Client2_0 (10)

AF id:364

OTU

SM_TxTI:00000000000000000000000000000000RESRESRESRESRESRESRESRESRESRESR
 E

OTU SM_BIP8:0

OTU SM_BDI:0

OTU SM_BEI_BIAE:0

OTU SM_IAE:0

MSG OTU4 Sent Time: 0.500197168

 ----- OTUk_TT_So Informations -----

Path: OtnSwitch2 / nic0 / nic[1]
 MSG identification: Client2_0 (10)

AF id:366

OTU

SM_TxTI:00000000000000000000000000000000RESRESRESRESRESRESRESRESRESRESR
 E

OTU SM_BIP8:0

OTU SM_BDI:0

OTU SM_BEI_BIAE:0

OTU SM_IAE:0

MSG OTU4 Sent Time: 0.500197168

 ----- OCh_OTUk_A_So Informations -----

Path: OtnSwitch2 / nic0 / nic[1]
 MSG identification: Client2_0 (10)

AF id:367
 OCh FAS:111101101111011011110110001010000010100000101000
 OCh MFAS:161

MSG OCh Sent Time: 0.500197168

----- OCh_TT_So Informations -----

Path: OtnSwitch2 / nic0 / nic[1]
 MSG identification: Client2_0 (10)

AF id:370
 OCh Power:10

MSG OCh Sent Time: 0.500198335695

----- OCh_C Informations -----

Path: OtnSwitch2 / wss
 MSG identification: Client2_0 (10)

AF id:389

-----WL Switch-----
 Gate IN: 1
 Gate OUT: 8

MSG OCh Sent Time: 0.500198335695

----- OMS_OCh_A_So Informations -----

Path: OtnSwitch2 / oic[0]
 MSG identification: Client2_0 (10)

AF id:400
 OMS WaveLength:1

MSG OMS Sent Time: 0.500198335695

----- OMS_TT_So Informations -----

Path: OtnSwitch2 / oic[0]
 MSG identification: Client2_0 (10)

AF id:398

MSG OMS Sent Time: 0.500198335695

----- OTS_OMS_A_So Informations -----

Path: OtnSwitch2 / oic[0]
MSG identification: Client2_0 (10)

AF id:396

MSG OTS Sent Time: 0.500198335695

----- OTS_TT_So Informations -----

Path: OtnSwitch2 / oic[0]
MSG identification: Client2_0 (10)

AF id:394

MSG OTS Sent Time: 0.500198335695

----- OTS_TT_Sk Informations -----

Path: OtnSwitch0 / oic[0]
MSG identification: Client2_0 (10)

AF id:142

MSG OTS Sent Time: 0.50053189979

--- Internal Attributes ---

Signals Received:

N/A

Defects:

dLOS_P: 0 - dLOS_O: 0 - dPMI: 0 - dTIM: 0 - dBDI_P: 0 -
dBDI_O: 0

Defect Correlations:

MI_LOS_P: 0 - MI_LOS_O: 0 - MI_LOS: 0 - MI_TIM: 0 - MI_BDI_P:
0 - MI_BDI_O: 0 - MI_BDI: 0

Consequent Actions:

RI_BDI-P: 0 - RI_BDI-O: 0 - AI_TSF-P: 0 - AI_TSF-O: 0

AcTi: 00000000000000000000000000000000RESRESRESRESRESRESRESRESRESRESRE

----- OTS_OMS_A_Sk Informations -----

Path: OtnSwitch0 / oic[0]
MSG identification: Client2_0 (10)

AF id:144

MSG OTS Sent Time: 0.50053189979

--- Internal Attributes ---

Signals Received:

AI_TSF-P: 0 - AI_TSF-O: 0

Defects:

N/A

Defect Correlations:

N/A

Consequent Actions:

CI_SSF-P: 0 - CI_SSF-O: 0 - FDI-P: 0 - FDI-O: 0

----- OMS_TT_Sk Informations -----

Path: OtnSwitch0 / oic[0]

MSG identification: Client2_0 (10)

AF id:146

MSG OMS Sent Time: 0.50053189979

--- Internal Attributes ---

Signals Received:

CI_SSF-P: 0 - CI_SSF-O: 0

Defects:

dLOS_P: 0 - dFDI_P: 0 - dFDI_O: 0 - dPMI: 0 - dBDI_P: 0 -
dBDI_O: 0

Defect Correlations:

MI_LOS_P: 0 - MI_SSF_P: 0 - MI_SSF_O: 0 - MI_SSF: 0 -
MI_BDI_P: 0 - MI_BDI_O: 0 - MI_BDI: 0

Consequent Actions:

RI_BDI-P: 0 - RI_BDI-O: 0 - AI_TSF-P: 0 - AI_TSF-O: 0

----- OMS_OCh_A_Sk Informations -----

Path: OtnSwitch0 / oic[0]

MSG identification: Client2_0 (10)

AF id:148

OMS WaveLength:1

MSG OMS Sent Time: 0.50053189979

--- Internal Attributes ---

Signals Received:

AI_TSF-P: 0 - AI_TSF-O: 0

Defects:

N/A

Defect Correlations:

N/A

Consequent Actions:

CI_SSF-P: 0 - CI_SSF-O: 0 - FDI-P: 0 - FDI-O: 0

----- OCh_C Informations -----

Path: OtnSwitch0 / wss
MSG identification: Client2_0 (10)

AF id:137

-----WL Switch-----

Gate IN: 8
Gate OUT: 1

MSG OCh Sent Time: 0.50053189979

----- OCh_TT_Sk Informations -----

Path: OtnSwitch0 / nic0 / nic[1]
MSG identification: Client2_0 (10)

AF id:103

MSG OCh Sent Time: 0.500533067485

--- Internal Attributes ---

Signals Received:

CI_SSF-P: 0 - CI_SSF-O: 0

Defects:

dLOS_P: 0 - dFDI_P: 0 - dFDI_O: 0 - dOCI: 0

Defect Correlations:

cLOS_P: 0 - cSSF_P: 0 - cSSF_O: 0 - cSSF: 0 - cOCI: 0

Consequent Actions:

aTSF_P: 0 - aTSF_O: 0

----- OCh_OTUk_A_Sk Informations -----

Path: OtnSwitch0 / nic0 / nic[1]
MSG identification: Client2_0 (10)

AF id:102

OCh FAS:111101101111011011110110001010000010100000101000

OCh MFAS:161

MSG OCh Sent Time: 0.500533067485

--- Internal Attributes ---

Signals Received:

AI_TSF_P: 0 - AI_TSF_O: 0

Defects:

dLOF: 0 - dLOM: 0

Defect Correlations:

MI_cLOF: 0 - MI_cLOM: 0

Consequent Actions:

N/A

```
Path: OtnSwitch0 / nic0 / nic[1]
MSG identification: Client2 0 (10)
```

```
AF id:95
ODU
PM_TTI:00000000000000000000000000000000RESRESRESRESRESRESRESRESRESRE
ODU PM_BDI:0
ODU PM_BEI:0
ODU PM_BIP8:766793
```

MSG ODU4 Sent Time: 0.500533067485

[illegible]

```
Path: OtnSwitch0 / nic0 / nic[1]
MSG identification: Client2_0 (10)
MSG ODU4 Arrived Time: 0.500533067485
```

AF id:93

```
ODU  
PM_TxTI:000000000000000000000000000000RESRESRESRESRESRESRESRESRESR  
E  
ODU PM_BIP8:766793  
ODU PM_BDI:0  
ODU PM_BEI:0  
ODU PM_STAT:001
```

```
OPU PSI:0
OPU OMFI:1
```

--- Getting FAS and MFAS ---

```
FAS: 111101101111011011110110001010000010100000101000
MEAS: 10
```

--- ODU4 demultiplexed and inserted in ODTU Queue ---

TS position: 1

--- Internal Attributes (Common) ---

Signals Received:

AI_TSF: 0 - AI_TSD: 0 - MFS: 161

Defects:

dPLM: 0 - dLOOMFI: 0

Defect Correlations:

cPLM: 0 - cLOOMFI: 0

Consequent Actions:

PI_TSF: 0 - PI_TSD: 0

---- ODUkP_ODUj_21_A_Sk Informations ----

Path: OtnSwitch0 / nic0 / nic[1]

MSG identification: Client2_0 (10)

AF id:93

--- Demultiplexing ODU4 to ODU2 ---

Gate ODU2_CP Index: 0

--- Internal Attributes (Specific) ---

Signals Received:

N/A

Defects:

dMSIM: 0 - dLOFLOM: 0

Defect Correlations:

cMSIM: 0 - cLOFLOM: 0

Consequent Actions:

CI_SSF: 0 - CI_SSD: 0 - aAIS: 0

MSG ODU2 Sent Time: 0.50056241894

----- ODU_C Informations -----

Path: OtnSwitch0 / oduSwitch

MSG identification: Client2_0 (10)

AF id:66

-----ODU Switch-----

Gate IN: 90

Gate OUT: 331

MSG ODU2 Sent Time: 0.50056241894

----- ODUkP ODUj 21 A So Informations -----

```
Path: OtnSwitch0 / nic1 / nic[0]
MSG identification: Client2_0 (10)
MSG ODU2 Arrived Time: 0.50056241894
```

AF id:113

```
--- Creating OTU2 to insert FAS and MFAS ---
```

```
FAS: 111101101111011011110110001010000010100000101000
MFAS: 10
```

```
--- ODU2 inserted in ODTU Queue ---
```

```
Gate ODU2_CP Index: 1
TS position: 4
```

----- ODUkP ODUj 21 A So Informations -----

```
Path: OtnSwitch0 / nic1 / nic[0]
MSG identification: Client2 0 (10)
```

```
--- Multiplexing ODU2 into ODU3 ---
```

```
AF id:113
OPU PSI:0
OPU OMFI:0
```

```
ODU  
PM_TxTI:00000000000000000000000000000000RESRESRESRESRESRESRESRESRESR  
E  
ODU PM_BIP8:0  
ODU PM_BDI:0  
ODU PM_BEI:0  
ODU PM_STAT:001
```

MSG ODU3 Sent Time: 0.500604875056

----- ODUkP TT So Informations -----

```
Path: OtnSwitch0 / nic1 / nic[0]
MSG identification: Client2 0 (10)
```

AF id:115

```
ODU  
PM_TTI:00000000000000000000000000000000RESRESRESRESRESRESRESRESRESRESRESRE  
ODU PM_BDI:0  
ODU PM_BEI:0  
ODU PM_BIP8:758701
```

MSG ODU3 Sent Time: 0.500604875056

```
----- OTUk ODUk A So Informations -----
```

```
Path: OtnSwitch0 / nic1 / nic[0]
```

MSG identification: Client2 0 (10)

AF id:117

OTU

[illegible]

OTU SM BIP8:0

OTU SM $\overline{\text{BDI}}:0$

OTU SM⁻ BEI BIAE:0

OTU SM IAE:0

MSG OTU3 Sent Time: 0.500604875056

----- OTUk TT So Informations -----

```
Path: OtnSwitch0 / nic1 / nic[0]
```

MSG identification: Client2 0 (10)

AF id:119

OTU

[illegible]

OTU SM BIP8:0

OTU SM⁻ BDI:0

OTU SM BEI BIAE:0

OTU SM IAE:0

MSG OTU3 Sent Time: 0.500604875056

```
----- OCh OTUk A So Informations -----
```

```
Path: OtnSwitch0 / nic1 / nic[0]
```

MSG identification: Client2 0 (10)

AF id:120

OCh FAS:111101101111011011110110001010000010100000101000

OCh MFAS:197

MSG OCh Sent Time: 0.500604875056

----- OCh TT So Informations -----

```
Path: OtnSwitch0 / nic1 / nic[0]
```

```
MSG identification: Client2 0 (10)
```

AF id:123

OCh Power:10

MSG OCh Sent Time: 0.500607910035

----- OCh_C Informations -----

Path: OtnSwitch0 / wss

MSG identification: Client2_0 (10)

AF id:137

-----WL Switch-----

Gate IN: 4

Gate OUT: 9

MSG OCh Sent Time: 0.500607910035

----- OMS_OCh_A_So Informations -----

Path: OtnSwitch0 / oic[1]

MSG identification: Client2_0 (10)

AF id:158

OMS WaveLength:0

MSG OMS Sent Time: 0.500607910035

----- OMS_TT_So Informations -----

Path: OtnSwitch0 / oic[1]

MSG identification: Client2_0 (10)

AF id:156

MSG OMS Sent Time: 0.500607910035

----- OTS_OMS_A_So Informations -----

Path: OtnSwitch0 / oic[1]

MSG identification: Client2_0 (10)

AF id:154

MSG OTS Sent Time: 0.500607910035

----- OTS_TT_So Informations -----

Path: OtnSwitch0 / oic[1]

MSG identification: Client2_0 (10)

AF id:152

MSG OTS Sent Time: 0.500607910035

----- OTS_TT_Sk Informations -----

Path: OtnSwitch1 / oic[0]

MSG identification: Client2_0 (10)

AF id:249

MSG OTS Sent Time: 0.50094147413

--- Internal Attributes ---

Signals Received:

N/A

Defects:

dLOS_P: 0 - dLOS_O: 0 - dPMI: 0 - dTIM: 0 - dBDI_P: 0 -
dBDI_O: 0

Defect Correlations:

MI_LOS_P: 0 - MI_LOS_O: 0 - MI_LOS: 0 - MI_TIM: 0 - MI_BDI_P:
0 - MI_BDI_O: 0 - MI_BDI: 0

Consequent Actions:

RI_BDI-P: 0 - RI_BDI-O: 0 - AI_TSF-P: 0 - AI_TSF-O: 0

AcTi: 00000000000000000000000000000000RESRESRESRESRESRESRESRESRE

----- OTS_OMS_A_Sk Informations -----

Path: OtnSwitch1 / oic[0]

MSG identification: Client2_0 (10)

AF id:251

MSG OTS Sent Time: 0.50094147413

--- Internal Attributes ---

Signals Received:

AI_TSF-P: 0 - AI_TSF-O: 0

Defects:

N/A

Defect Correlations:

N/A

Consequent Actions:

CI_SSF-P: 0 - CI_SSF-O: 0 - FDI-P: 0 - FDI-O: 0

----- OMS_TT_Sk Informations -----

Path: OtnSwitch1 / oic[0]

MSG identification: Client2_0 (10)

AF id:253

MSG OMS Sent Time: 0.50094147413

--- Internal Attributes ---

Signals Received:

CI_SSF-P: 0 - CI_SSF-O: 0

Defects:

dLOS_P: 0 - dFDI_P: 0 - dFDI_O: 0 - dPMI: 0 - dBDI_P: 0 -
dBDI_O: 0

Defect Correlations:

MI_LOS_P: 0 - MI_SSF_P: 0 - MI_SSF_O: 0 - MI_SSF: 0 -
MI_BDI_P: 0 - MI_BDI_O: 0 - MI_BDI: 0

Consequent Actions:

RI_BDI-P: 0 - RI_BDI-O: 0 - AI_TSF-P: 0 - AI_TSF-O: 0

----- OMS_OCh_A_Sk Informations -----

Path: OtnSwitch1 / oic[0]

MSG identification: Client2_0 (10)

AF id:255

OMS WaveLength:0

MSG OMS Sent Time: 0.50094147413

--- Internal Attributes ---

Signals Received:

AI_TSF-P: 0 - AI_TSF-O: 0

Defects:

N/A

Defect Correlations:

N/A

Consequent Actions:

CI_SSF-P: 0 - CI_SSF-O: 0 - FDI-P: 0 - FDI-O: 0

----- OCh_C Informations -----

Path: OtnSwitch1 / wss

MSG identification: Client2_0 (10)

AF id:245

-----WL Switch-----

Gate IN: 7

Gate OUT: 6

MSG OCh Sent Time: 0.50094147413

----- OCh TT Sk Informations -----

```
Path: OtnSwitch1 / nic3 / nic[0]
MSG identification: Client2 0 (10)
```

AF id:243

MSG OCh Sent Time: 0.500944509109

```

--- Internal Attributes ---

```

Signals Received:

CI SSF-P: 0 - CI SSF-O: 0

Defects:

dLOS P: 0 - dFDI P: 0 - dFDI O: 0 - dOCI: 0

Defect Correlations:

cLOS P: 0 - cSSF P: 0 - cSSF O: 0 - cSSF: 0 - cOCI: 0

Consequent Actions:

$$\text{aTSF } P: 0 \quad - \quad \text{aTSF } O: 0$$

```
----- OCh OTUk A Sk Informations -----
```

```
Path: OtnSwitch1 / nic3 / nic[0]
MSG identification: Client2 0 (10)
```

AF id:242

OCh FAS:111101101111011011110110001010000010100000101000

OCh MFAS:197

MSG OCh Sent Time: 0.500944509109

```

--- Internal Attributes ---

```

Signals Received:

AI TSF P: 0 - AI TSF O: 0

Defects:

dLOF: 0 - dLOM: 0

Defect Correlations:

MI cLOF: 0 - MI cLOM: 0

Consequent Actions:

CI SSF: 0

----- OTUk TT Sk Informations -----

```
Path: OtnSwitch1 / nic3 / nic[0]
MSG identification: Client2 0 (10)
```

AF id:239

OTU

SM_TxTI:000000000000000000000000000000RESRESRESRESRESRESRESRESRESRES
E

OTU SM BIP8:0

OTU SM⁻ BDI:0

OTU SM BEI BIAE:0

MSG ODU3 Sent Time: 0.500944509109

---- ODUkP_ODUj_21_A_So Informations ----

Path: OtnSwitch1 / nic0 / nic[0]
MSG identification: Client2_0 (10)
MSG ODU3 Arrived Time: 0.500944509109

AF id:221

--- Creating OTU3 to insert FAS and MFAS ---

FAS: 111101101111011011110110001010000010100000101000
MFAS: 197

--- ODU3 inserted in ODTU Queue ---

Gate ODU3_CP Index: 48
TS position: 37

---- ODUkP_ODUj_21_A_So Informations ----

Path: OtnSwitch1 / nic0 / nic[0]
MSG identification: Client2_0 (10)

--- Multiplexing ODU3 into ODU4 ---

AF id:221
OPU PSI:0
OPU OMFI:38

ODU
PM_TxTI:00000000000000000000000000000000RESRESRESRESRESRESRESRESR
E
ODU PM_BIP8:0
ODU PM_BDI:0
ODU PM_BEI:0
ODU PM_STAT:001

MSG ODU4 Sent Time: 0.500985568

----- ODUkP_TT_So Informations -----

Path: OtnSwitch1 / nic0 / nic[0]
MSG identification: Client2_0 (10)

AF id:223
ODU
PM_TTI:00000000000000000000000000000000RESRESRESRESRESRESRESRESR
E
ODU PM_BDI:0
ODU PM_BEI:0
ODU PM_BIP8:758701

MSG ODU4 Sent Time: 0.500985568

```
----- OTUk ODUk A So Informations -----
```

```
Path: OtnSwitch1 / nic0 / nic[0]
```

MSG identification: Client2 0 (10)

AF id:225

OTU

[illegible]

OTU SM BIP8:0

OTU SM⁻BDI:0

OTU SM BEI BIAE:0

OTU SM⁻ IAE⁻:0

MSG OTU4 Sent Time: 0.500985568

----- OTUK TT So Informations -----

```
Path: OtnSwitch1 / nic0 / nic[0]
```

MSG identification: Client2 0 (10)

AF id:227

OTU

[illegible]

OTU SM BIP8:0

OTU SM⁻BDI:0

OTU SM BEI BIAE:0

OTU SM IAE:0

MSG OTU4 Sent Time: 0.500985568

```
----- OCh OTUk A So Informations -----
```

```
Path: OtnSwitch1 / nic0 / nic[0]
```

MSG identification: Client2 0 (10)

AF id:228

OCh FAS:111101101111011011110110001010000010100000101000

OCh MFAS:70

MSG OCh Sent Time: 0.500985568

----- OCh TT So Informations -----

Path: OtnSwitch1 / nic0 / nic[0]

MSG identification: Client2 0 (10)

AF id:231
OCh Power:10

MSG OCh Sent Time: 0.500986735695

----- OCh_C Informations -----

Path: OtnSwitch1 / wss
MSG identification: Client2_0 (10)

AF id:245

-----WL Switch-----
Gate IN: 0
Gate OUT: 9

MSG OCh Sent Time: 0.500986735695

----- OMS_OCh_A_So Informations -----

Path: OtnSwitch1 / oic[1]
MSG identification: Client2_0 (10)

AF id:265
OMS WaveLength:0

MSG OMS Sent Time: 0.500986735695

----- OMS_TT_So Informations -----

Path: OtnSwitch1 / oic[1]
MSG identification: Client2_0 (10)

AF id:263

MSG OMS Sent Time: 0.500986735695

----- OTS_OMS_A_So Informations -----

Path: OtnSwitch1 / oic[1]
MSG identification: Client2_0 (10)

AF id:261

MSG OTS Sent Time: 0.500986735695

----- OTS_TT_So Informations -----

```
Path: OtnSwitch1 / oic[1]
MSG identification: Client2 0 (10)
```

AF id:259

MSG OTS Sent Time: 0.500986735695

----- OTS TT Sk Informations -----

```
Path: OtnSwitch4 / oic[0]
MSG identification: Client2 0 (10)
```

AF id:603

MSG OTS Sent Time: 0.50132029979

```

--- Internal Attributes ---

```

```

Signals Received:
N/A
Defects:
dLOS_P: 0 - dLOS_O: 0 - dPMI: 0 - dTIM: 0 - dBDI_P: 0 -
dBDI_O: 0
Defect Correlations:
MI_LOS_P: 0 - MI_LOS_O: 0 - MI_LOS: 0 - MI_TIM: 0 - MI_BDI_P:
0 - MI_BDI_O: 0 - MI_BDI: 0
Consequent Actions:
RI_BDI-P: 0 - RI_BDI-O: 0 - AI_TSF-P: 0 - AI_TSF-O: 0
AcTi: 000000000000000000000000000000RESRESRESRESRESRESRESRESRE

```

----- OTS OMS A Sk Informations -----

```
Path: OtnSwitch4 / oic[0]
MSG identification: Client2 0 (10)
```

AF id:605

MSG OTS Sent Time: 0.50132029979

```
--- Internal Attributes ---
```

```

Signals Received:
AI_TSF-P: 0   -   AI_TSF-O: 0
Defects:
N/A
Defect Correlations:
N/A
Consequent Actions:
CI SSF-P: 0   -   CI SSF-O: 0   -   FDI-P: 0   -   FDI-O: 0

```

----- OMS TT Sk Informations -----

Path: OtnSwitch4 / oic[0]
MSG identification: Client2_0 (10)

AF id:607

MSG OMS Sent Time: 0.50132029979

--- Internal Attributes ---

Signals Received:
CI_SSF-P: 0 - CI_SSF-O: 0
Defects:
dLOS_P: 0 - dFDI_P: 0 - dFDI_O: 0 - dPMI: 0 - dBDI_P: 0 -
dBDI_O: 0
Defect Correlations:
MI_LOS_P: 0 - MI_SSF_P: 0 - MI_SSF_O: 0 - MI_SSF: 0 -
MI_BDI_P: 0 - MI_BDI_O: 0 - MI_BDI: 0
Consequent Actions:
RI_BDI-P: 0 - RI_BDI-O: 0 - AI_TSF-P: 0 - AI_TSF-O: 0

----- OMS_OCh_A_Sk Informations -----

Path: OtnSwitch4 / oic[0]
MSG identification: Client2_0 (10)

AF id:609

OMS WaveLength:0

MSG OMS Sent Time: 0.50132029979

--- Internal Attributes ---

Signals Received:
AI_TSF-P: 0 - AI_TSF-O: 0
Defects:
N/A
Defect Correlations:
N/A
Consequent Actions:
CI_SSF-P: 0 - CI_SSF-O: 0 - FDI-P: 0 - FDI-O: 0

----- OCh_C Informations -----

Path: OtnSwitch4 / wss
MSG identification: Client2_0 (10)

AF id:599

-----WL Switch-----

Gate IN: 7
Gate OUT: 5

MSG OCh Sent Time: 0.50132029979

```
Path: OtnSwitch4 / nic2 / nic[0]
MSG identification: Client2 0 (10)
```

AF id:597

MSG OCh Sent Time: 0.501321467485

```
--- Internal Attributes ---
```

```

Signals Received:
CI_SSF-P: 0 - CI_SSF-O: 0
Defects:
dLOS_P: 0 - dFDI_P: 0 - dFDI_O: 0 - dOCI: 0
Defect Correlations:
cLOS_P: 0 - cSSF_P: 0 - cSSF_O: 0 - cSSF: 0 - cOCI: 0
Consequent Actions:
aTSF P: 0 - aTSF O: 0

```

----- OCh OTUk A Sk Informations -----

```
Path: OtnSwitch4 / nic2 / nic[0]
MSG identification: Client2 0 (10)
```

```
AF id:596
OCh FAS:111101101111011011110110001010000010100000101000
OCh MFAS:70
```

MSG OCh Sent Time: 0.501321467485

```
--- Internal Attributes ---
```

```

Signals Received:
AI_TSF_P: 0 - AI_TSF_O: 0
Defects:
dLOF: 0 - dLOM: 0
Defect Correlations:
MI_cLOF: 0 - MI_cLOM: 0
Consequent Actions:
CI SSF: 0

```

----- OTUk TT Sk Informations -----

```
Path: OtnSwitch4 / nic2 / nic[0]
MSG identification: Client2 0 (10)
```

[illegible]

Consequent Actions:
PI TSF: 0 - PI TSD: 0

 ---- ODUkP ODUj 21 A Sk Informations ----

```
Path: OtnSwitch4 / nic2 / nic[0]
MSG identification: Client2 0 (10)
```

AF id:587

```
--- Demultiplexing ODU4 to ODU3 ---
```

Gate ODU3 CP Index: 48

```
--- Internal Attributes (Specific) ---
```

Signals Received:
 N/A
 Defects:
 dMSIM: 0 - dLOFLOM: 0
 Defect Correlations:
 cMSIM: 0 - cLOFLOM: 0
 Consequent Actions:
 CI SSF: 0 - CI SSD: 0 - aAIS: 0

MSG ODU3 Sent Time: 0.501336309815

----- ODUkP TT Sk Informations -----

```
Path: OtnSwitch4 / nic2 / nic[0]
MSG identification: Client2 0 (10)
```

AF id:585

ODU

[illegible]

OD \overline{U} PM BDI:0

ODU PM BEI:0

ODU PM BIP8:758701

MSG ODU3 Sent Time: 0.501336309815

```
--- Internal Attributes ---
```

Signals Received:
CI SSF: 0 - MFS: 197

```

Defects:
dTIM: 0 - dBDI: 0 - dBEI: 0 - dSTAT: 001 - dAIS: 0 - dOCI: 0
- dLCK: 0 - dDEG: 0

```

Defect Correlations:
MI_cTIM: 0 - MI_cDEG: 0 - MI_cBDI: 0 - MI_cOCI: 0 - MI_cLCK: 0
- MI_cSSF: 0

Consequent Actions:
RI BDI: 0 - RI BEI: 0 - AI TSF: 0

[illegible]

```
-----  
---- ODUkP_ODUj_2l_A_Sk Informations ----  
  
Path: OtnSwitch4 / nic2 / nic[0]  
MSG identification: Client2_0 (10)  
MSG ODU3 Arrived Time: 0.501336309815  
  
AF id:583  
  
ODU  
PM_TxTI:00000000000000000000000000000000RESRESRESRESRESRESRESRESR  
E  
ODU PM_BIP8:758701  
ODU PM_BDI:0  
ODU PM_BEI:0  
ODU PM_STAT:001  
  
OPU PSI:0  
OPU OMFI:0  
  
--- Getting FAS and MFAS ---  
  
FAS: 111101101111011011110110001010000010100000101000  
MFAS: 10  
  
--- ODU3 demultiplexed and inserted in ODTU Queue ---  
  
TS position: 5  
  
--- Internal Attributes (Common) ---  
  
Signals Received:  
AI_TS_F: 0 - AI_TSD: 0 - MFS: 197  
Defects:  
dPLM: 0 - dLOOMFI: 0  
Defect Correlations:  
cPLM: 0 - cLOOMFI: 0  
Consequent Actions:  
PI_TS_F: 0 - PI_TSD: 0  
  
-----  
---- ODUkP_ODUj_2l_A_Sk Informations ----  
  
Path: OtnSwitch4 / nic2 / nic[0]  
MSG identification: Client2_0 (10)  
  
AF id:583  
  
--- Demultiplexing ODU3 to ODU2 ---  
  
Gate ODU2_CP Index: 1  
  
--- Internal Attributes (Specific) ---  
  
Signals Received:
```

```
-----
----- ODU C Informations -----
```

```
-----ODU Switch-----
Gate IN: 411
Gate OUT: 4
```

----- ODUkP TT Sk Informations -----

```
ODU  
PM_TTI:000000000000000000000000000000RESRESRESRESRESRESRESRESRE  
ODU PM_BDI:0  
ODU PM_BEI:0  
ODU PM_BIP8:758701
```

[illegible]

```
-----
---- ODUkP CBRxb A Sk Informations -----
```

